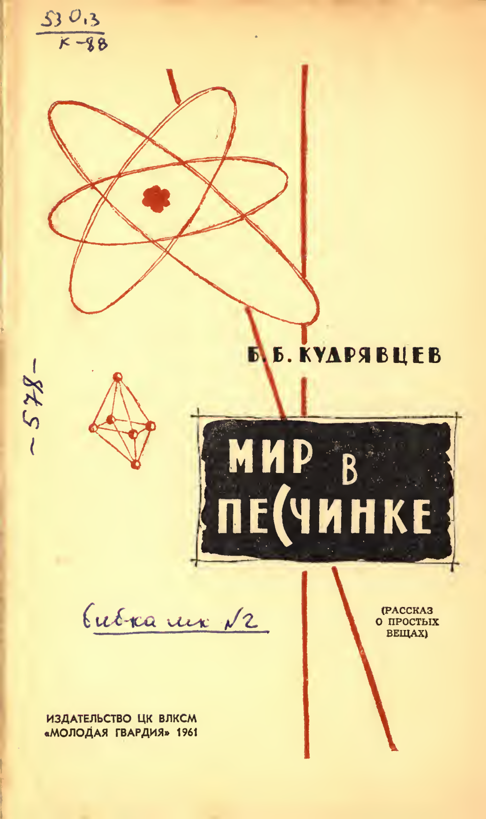


Э303
К-78
Б. Б. КУДРЯВЦЕВ
МИР В ПЕСЧИНКЕ



Б. Б. КУДРЯВЦЕВ

МИР В ПЕСЧИНКЕ

(РАССКАЗ О ПРОСТЫХ ВЕЩАХ)

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЦК ВЛКСМ
«МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ» 1961

Можно ли, читая о молекулярном строении веществ, видеть самому мельчайшие частицы, из которых состоят эти вещества?

Можно ли, узнав, какие явления происходят в газе, жидкости и, наконец, в твердом теле, проверить их протекание лично, поставив опыты на своем столе?

Оказывается, можно.

Сделав читателя активным исследователем природы, автор книги профессор Б. Б. Кудрявцев рассказывает о строении веществ, дает практические советы, как провести простые, доступные каждому опыты и как в них наблюдать то или иное явление.

Доходчивое изложение с большим числом иллюстраций делает книгу доступной самым широким кругам читателей.

От автора

Много-много веков назад наш далекий предок впервые задумался над вопросом, почему в окружающем мире происходят различные явления. Сейчас невозможно сказать, какой именно факт привлек его внимание и заставил искать причину наблюдаемого. Может быть, это было наступление темноты после того, как солнце скрылось за облаком, или боль от ушиба упавшей веткой, или возникновение искры при сильном ударе камня о камень...

Но каким бы ни было событие, пробудившее пытливую мысль, возникновение в сознании первого вопроса было замечательной вехой в эволюции, превратившей представителя ныне вымершей породы человекообразных обезьян в человека.

Нельзя забывать, что наука называет нас с вами Homo sapiens (хомо сапиенс), что означает в переводе «человек разумный».

В детстве, знакомясь с миром, мы задавали старшим массу вопросов. Все тогда вызывало интерес: почему, замерзая, вода превращается в лед, почему закипающий чайник начинает забавно шуметь и крышка на нем подпрыгивает, почему... Да разве можно перечислить все «почему»?

В ту пору мы не только обращались с вопросами к окружающим, но подчас смело стремились самостоятельно найти интересующий ответ. Кто не пытался, вооружившись отверткой или перочинным ножом, выяснить, почему будильник звенит или двигаются заводные игрушки?

С годами люди меньше спрашивают, многие вопросы считают «глупыми» и стесняются их задавать, хотя часто сами не могут на них ответить. Совсем редко прибегают теперь они к «смелому» опыту. Чаще обращаются за советом к книге.

Книга — великий помощник и друг человека! Почти на все вопросы можно найти в ней ответы. Как любящий учитель, она терпеливо объясняет читателю сложные и трудные для понимания вопросы.

В этой небольшой книге рассказывается о простых вещах, с которыми мы сталкиваемся ежедневно, но о природе которых редко задумываемся.

За время своего сознательного существования человек понял, что особенно ценным является активное познание мира, добываемое в результате собственного опыта. Поэтому мы всегда, когда это не очень сложно, будем рассказывать, как можно самостоятельно наблюдать то или иное явление, убедиться в правильности даваемого ему объяснения. Выполненные своими руками опыты откроют перед читателями возможность творческого познания природы. И если хотя бы незначительная часть их воспользуется этой возможностью, автор будет считать, что поставленная им задача в какой-то мере решена.



ХАОС

В глубине веков

Примерно две с половиной тысячи лет назад достигло расцвета расположенное на омываемом теплым Средиземным морем Балканском полуострове античное греческое государство. Это был золотой век классического искусства, науки, философии. До наших дней непревзойденными остаются замечательные творения скульпторов Эллады. Мы с восхищением любуемся сохранившимися образцами античной архитектуры, с восторгом читаем бессмертные творения Гомера, Еврипида, Аристофана...

Драгоценный памятник греческой культуры — сочинения философов и ученых. В этих трудах подводится итог знаниям, которые приобрело человечество, присматриваясь к явлениям окружающей природы и пытаясь понять закономерности, которым они подчиняются.

Подмечая на каждом шагу взаимную связь различных явлений, люди воспринимали природу во всем ее многообразии как нечто единое целое.

Две отличительные черты окружающего мира особенно бросались в глаза человеку. Первой из них была постоянная изменчивость природы. Смена времен года резко сказывалась на облике Земли. За цветущей весной и жарким летом неизбежно приходили осень и холодная зима. Жизнь в природе замирала, чтобы вновь возродиться с приходом весны. Морские прибои подмывали высокие берега, меняя их очертания. Лесной пожар, начавшийся от неосторожно разложенного пастухами костра, пожирал огромные стволы вековых деревьев. Горный обвал мог превратить цветущую долину в пустыню. Все люди — и раб и полководец — умирали и после сжигания превращались в пепел.

В мире все изменчиво, нет ничего постоянного, все течет, все изменяется: день сменяется ночью, летний жар — зимним холодом, здоровье — болезнью...

«На того, кто входит в ту же самую реку, каждый раз текут новые воды... В одну и ту же реку невозможно войти дважды», — говорил один из греческих мудрецов, Гераклит Эфесский, подчеркивая мысль,

что все в природе непрерывно изменяется.

Второй особенностью природы, подмеченной человеком, была своеобразно сочетающаяся с изменчивостью вечность окружающего мира. Действительно, оголенная зимними холодами горная вершина весною вновь покрывалась цветущим ковром; на месте уничтоженного пожаром леса вырастала поросль, превращавшаяся через несколько десятилетий в густой лес. Место умерших людей и животных занимали рождающиеся вновь. Так было везде и во всем. Мир изменчив и в то же время вечен. Непрерывно изменяясь, природа вновь и вновь воспроизводит себя.

Попыткой объяснить эту противоречивость природы была гениальная догадка классической древности — материалистическое учение об атомах. Наиболее полно это учение изложил греческий философ Демокрит.

Атомы

Демокрит родился около 460 года до нашего летосчисления в греческом городе Абдере. По дошедшим до нас сведениям, это был энциклопедически образованный человек. Все интересовало его: физика, математика, философия, медицина, техника...

Главное сочинение Демокрита — «Великий диакосмос» — посвящено учению о строении мира.

Демокрит думал, что окружающий мир состоит из мельчайших частиц. Эти частицы он считал неделимыми и назвал поэтому атомами («атом» — греческое слово, означающее «неделимый»).

Атомы, по его мысли, вечны и неизменны, многообразие же окружающей нас природы вызвано различным движением и сочетаниями атомов.

«Все состоит из атомов... вещи отличаются друг от друга атомами, из которых они состоят, их порядком и положением...» — писал Демокрит. Атомы находятся в непрерывном движении, и их движение — причина изменчивости мира. Сами атомы неизменны, и в этом — объяснение вечности мира. Двигаясь беспорядочно, атомы приближаются друг к другу, образуют скопления.



Рис. 1. Так объяснял Демокрит, почему пахнут цветы.

В одном случае такое скопление может быть водой, в другом случае — камнем, в третьем — растением. Спустя некоторое время в результате движения атомов эти скопления изменяются: вода испарится, растение увянет. Но вечность атомов и их движения обеспечивает повторное возникновение исчезнувших их скоплений, поэтому окружающий нас мир вечен.

Тем, что все состоит из атомов, Демокрит объяснял многие хорошо известные свойства вещей. Так, например, аромат цветов, по его мнению, мы чувствуем потому, что вылетающие из чашечки цветка атомы попадают в нос человека и вызывают ощущение запаха. Соленый вкус морскому воздуху придают атомы соли, уносимые ветром вместе с капельками морской воды. Горький, соленый, острый вкус различных тел, как считал Демокрит, зависит от формы их атомов. Пользуясь атомным учением, он объяснял разнообразные явления природы: возникновение облаков, громовые раскаты, зарницы и многое другое.

В древности взгляды Демокрита разделялись многими учеными. В I веке до нашей эры замечательный римский поэт и философ Тит Лукреций Кар рассказал об атомах в своей бессмертной поэме «О природе вещей». Поэтичные строки поэмы запоминались лучше ученых трактатов.

Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,
Множество маленьких тел в пустоте ты увидишь; мелькая,
Мечутся взад и вперед в лучистом сиянии света;
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,
В схватки бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,
Или сходясь, или врозь постоянно опять разлетаясь,
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно
Первоначала вещей в пустоте необъятной мятутся.
Так о великих вещах помогают составить понятье
Малые вещи, пути намечая для их постиженья.
Кроме того, потому обратить тебе надо вниманье
На суматоху в телах, мелькающих в солнечном свете,
Что из нее познаешь ты материи также движенья,
Происходящие в ней потаенно и скрыто от взора.
Ибо увидишь ты там, как много пылинок меняют
Путь свой от скрытых толчков и опять отлетают обратно,
Всюду туда и сюда разбегаясь во всех направленьях.

«Первоначалами вещей» называл Лукреций атомы. Особенности движения и расположения атомов и их сочетания объясняли многообразие мира.

...Имеет большое значение, с какими
И в положеньи каком войдут в сочетании те же
Первоначала и как они двигаться будут взаимно;
Как, лишь слегка изменив сочетанья, они порождают
Дерево или огонь? И подобным же образом, так же,
При изменении лишь сочетания букв, создаются
Разного рода слова совершенно различного смысла... —

писал Лукреций.

Так же как и Демокриту, атомы помогали ему объяснить природу различных явлений.

Античное греческое государство, в котором жил Демокрит, было рабовладельческим. Физический труд в нем составлял удел рабов. А свободные граждане относились с презрением к физическому труду. С этим связана одна из особенностей науки того времени: как правило, греческие ученые для подтверждения или опровержения какого-либо научного предположения не прибегали к опыту. Они считали возможным получить все знания только путем рассуждения — «силой ума», как тогда говорили.

Этого большого недостатка не избежало и учение Демокрита. В этом недостатке кроется одна из причин того, что наряду с мыслью об атомном строении вещества в античной Греции широким распространением пользовались и прямо противоположные взгляды. Их выразителем был крупнейший натуралист и философ древности Аристотель.

Великое заблуждение

Аристотель не признавал существования материальных атомов и считал, что вещество можно делить неограниченно.

Согласно учению Аристотеля все в природе являлось сочетанием четырех основных качеств — начал. Этими началами были: *тепло, холод, сухость* и *влажность*. Соединяясь попарно, начала образовывали элементы: холодную и сухую *землю*, холодную и влажную *воду*, горячий и влажный *воздух* и горячий и сухой *огонь*.

Элементы Аристотеля не были теми веществами, которые мы называем воздухом, землей и водой. Они были лишь носителями определенных свойств.

Сочетанием различного количества этих четырех элементов объяснялись свойства всех тел природы. При изменении соотношения в количестве аристотельских элементов в каком-либо теле изменялись его свойства. Каждому элементу в природе, как думал Аристотель, присуще определенное положение, к которому он стремится. Например, тяжелые твердые и жидкие тела падают потому, что входящим в них элементам свойствен более низкий уровень, чем воздуху, который всегда поднимается вверх, так как стремится к присущему ему более высокому уровню. Это придуманное Аристотелем стремление

тел к определенным уровням или положениям он не отличал от тех стремлений, которые руководят поступками людей. Свойства неодушевленных тел Аристотель объяснял стремлением их к выполнению определенной цели. Следовательно, руководящим и управляющим в природе делалось духовное начало. А значит, учение Аристотеля было идеалистическим.

В противоположность этому взгляду атомное учение по самой своей сущности глубоко материалистично. В мире, состоящем из движущихся атомов и пустого пространства, не остается места для божества. Самые различные явления природы находят себе простое объяснение без помощи каких-либо сверхъестественных сил. Неспроста же на протяжении многих столетий, прошедших со времени Демокрита, все материалистические учения сознательно связывали свое возникновение с именем великого атомиста. Движения атомов и их соударения подчиняются простым и строгим законам, исключающим божественную волю, отрицающим существование чудес и необъяснимых явлений.

Материалистическая сущность атомизма была одной из главных причин того, почему спустя несколько столетий учение Демокрита подверглось жестокому гонению. После распада Римской рабовладельческой империи огромное влияние приобрела христианская церковь. Сделавшись официальной государственной религией, христианство всеми силами стремилось уничтожить классическую науку и искусство, объявив их языческими. Интерес к ним церковь считала грехом. В 390 году архиепископ Феофил явился вдохновителем разрушения Александрийской библиотеки, этой сокровищницы мировой культуры. Преследовалось само стремление к знанию, если только оно не было направлено на утверждение христианского учения. Строго запрещалось чтение научных книг.

При уничтожении культурного наследства, оставшегося от античного греческого государства, церковь сделала исключение для трудов Аристотеля, идеалистическую сущность которых она быстро поняла. Приравненные к священным книгам, его сочинения превратились в церковную догму, сомневаться в истинности которой было не менее опасно, чем сомневаться в истинности самого церковного учения.

Вместе с церковными книгами учение Аристотеля проникало в первые русские школы. Неточно переведенное на славянский язык, оно делалось еще более туманным и непонятным. Вот как звучал отрывок из физики Аристотеля в XVII веке:

«Яко же глаголют физицы, два суть наклонения. Нецыи бо аще сущее тело едино еже подлежащее сотворят, или трех некое или ино еже огня густьше будет аера же редчайше густотою и редкостью ина некая рождают, много творяще».

Не стоит глубоко задумываться, доискиваться смысла перевода — он ускользал и от современников. Один из них написал на полях сохранившейся рукописи: «Здесь много преписующими наглупоствовано».

Для средневековых последователей Аристотеля характерно такое рабское преклонение перед его авторитетом, которое в наше время даже трудно себе представить. Истинный ученик Аристотеля, поймав майского жука и заинтересовавшись числом его ножек, и не подумал бы их сосчитать. Он раскрыл бы сочинения своего учителя и начал бы в них искать, что сказал об этом Аристотель. История сохранила нам замечательный пример подобной попытки омертвить науку.

Средневековый ученый монах Патер Шейнер, производивший многочисленные наблюдения над солнцем, однажды вытянул направленную на солнце зрительную трубу больше, чем это требовалось для того, чтобы ясно видеть светило. При этом он обнаружил на белом экране, расположенном в темной комнате на пути лучей, идущих из трубы, изображение солнца. Представьте себе его удивление, когда на изображении солнечного диска он заметил темные пятна. Пораженный ученый многократно повторял свой опыт, показывая солнечные пятна, о существовании которых мы теперь знаем со школьной скамьи, заходившим к нему друзьям. Гости Шейнера наблюдали пятна и удивлялись сделанному открытию.

Однако когда Шейнер рассказал о своем открытии известному в то время ученому-иезуиту, верному последователю Аристотеля, и попросил его убедиться в справедливости открытия, посмотрев на изображение солнца, иезуит ответил: «Напрасно, сын мой, я дважды прочел всего Аристотеля и не нашел у него ничего подобного. Пятен нет. Они проистекают от недостатков твоих стекол или твоих глаз», — и отказался смотреть опыты Шейнера.

В преследовании атомного учения от церковных властей старались не отстать и власти светские. В феврале 1626 года парижский парламент под страхом смертной казни запретил распространять мысль о том, что все в мире состоит из атомов. Однако как бы ни были строги парламентские акты и постановления церковных соборов, они не могли задержать развития науки. Прошло несколько лет после грозного акта парламента, и именно в Париже вновь возродились идеи Демокрита. Их выразителем явился французский философ Пьер Гассенди.

По стопам Демокрита

Родиной Гассенди была солнечная провинция Франции Прованс. Будущий философ родился в 1592 году в семье бедных поселян близ города Динь. Один из родственников дал ему возможность учиться

философии в городе Экс. Обладая недюжинными способностями, Гассенди уже 16-летним юношей становится учителем риторики.

Смело восстав против невежества средневековой науки и освященного церковью авторитета Аристотеля, Гассенди проповедует в своих сочинениях атомное учение.

— Дробить тело до бесконечности нельзя, — утверждает он. — Все тела состоят из неделимых частиц, или атомов. Атомы бывают разнообразной формы: некоторые угловаты, другие шаровидны, есть и заостренные, есть и гладкие...

Если атомы сцеплены между собой лишь в немногих точках, то тело бывает жидким; напротив, если они соприкасаются многими точками, то тело бывает твердым.

Атомы, как правило, объединяются в более крупные частички, наподобие того как отдельные буквы объединяются в слова.

Эти более крупные частички Гассенди назвал молекулами, от латинского слова «молес», что означает «масса».

Среди ученых того времени взгляды Гассенди нашли себе как горячих приверженцев, так и не менее горячих противников. Широко пользовался атомным учением в своих работах английский ученый Роберт Бойль.

Один из творцов современной физики, Исаак Ньютон, считал, что все тела состоят из «имеющих массу, крепких, непроницаемых, движущихся частичек...», то есть атомов; эта идея помогла ему правильно объяснять явления природы.

Не надо думать, однако, что после Гассенди атомное учение сделалось господствующим в науке. Его противники были более многочисленны, чем сторонники. Не признавал учения Гассенди об атомах его современник и соотечественник, крупнейший философ, физик и математик Рене Декарт, считавший, что вещество можно делить беспредельно. Отрицал существование материальных атомов и гениальный немецкий математик, философ-идеалист Готфрид Лейбниц.

Справедливость требует отметить, что в сочинениях Гассенди было много непоследовательного. Он считал, например, что наряду с материальными, вещественными атомами существуют особые атомы холода, тепла и даже... атомы души!

На взглядах Гассенди лежит печать двойственности; попытки примирить материалистический взгляд на природу с существованием бога. Эта двойственность не способствовала успеху его учения.

Проходит еще около ста лет, и мысль об атомном строении вещества находит себе нового замечательного защитника — великого русского ученого Михаила Васильевича Ломоносова. Ломоносов не только признает справедливость атомного строения окружающих тел — он использует учение об атомах для объяснения различных свойств и превращений вещества. Атомное учение помогло Ломоносову правильно

объяснить, что такое теплота, понять, почему газы сопротивляются сжатию, найти законы, которые позволили в дальнейшем строить более совершенные машины, и т. д.

М. В. Ломоносов

М. В. Ломоносов родился в 1711 году.

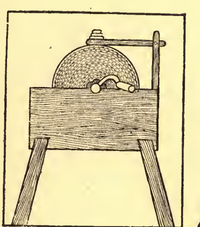
История сохранила нам имена многих величайших ученых, художников, поэтов. Однако вряд ли мы найдем среди них другого человека, столь богато и разносторонне одаренного, как М. В. Ломоносов.

Трудно охватить круг его интересов — так он велик. А. С. Пушкин писал о Ломоносове, что он «...соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенною силою понятия... обнял все отрасли просвещения... Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник...»

Разносторонность таланта Ломоносова поражала иностранцев. Они не могли представить себе, что это был один человек. Еще недавно в некоторых иностранных книгах по истории химии писали, что существовало два Ломоносова: один химик, а другой поэт!

Как и все лучшие сыны русского народа, Ломоносов горячо любил родину и много сил положил на укрепление ее мощи, на улучшение жизни народа. Заботясь о распространении знаний, Ломоносов был фактическим основателем Московского университета, являющегося до сих пор одним из крупнейших научных центров нашей страны.

В самых различных областях знаний работал Ломоносов. Но особенно много занимался он физикой и химией. Ломоносов создал первую



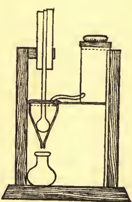


Рис. 2. Приборы, изобретенные Ломоносовым.

в России химическую лабораторию, предназначенную для чисто научных исследований. Раньше других он понял значение взвешивания веществ при химических превращениях.

В 1748 году Ломоносов писал: «Все перемены, в природе случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присоединится к другому... Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения...»

Значение этого научного обобщения сделалось ясным только в наше время. Первую часть открытого закона — принцип сохранения веса — Ломоносов подтвердил в 1756 году тщательными опытами. Через 17 лет его опыты повторил и расширил талантливый французский химик Лавуазье, способствуя тем самым утверждению принципа сохранения веса в химии.

Спустя почти сто лет, в 1842 году, немецкий врач Р. Майер сформулировал закон, получивший в дальнейшем название «Принципа сохранения энергии». Мы знаем теперь, что открытие Майера подтверждает одну из конкретных формулировок общего закона, высказанного Ломоносовым.

Таким образом, Ломоносов первый увидел всеобщность сделанного им открытия. Объединенный закон сохранения массы и энергии должен по справедливости носить имя Ломоносова.

На протяжении последних ста лет закон Ломоносова был тем фундаментом, на который опиралось развитие науки и техники. Именно знание его обеспечило сказочный технический прогресс, свидетелями которого мы являемся. В последние десятилетия, когда ученые напряженно трудились, пытаясь раскрыть тайны строения атома, закон сохранения массы и энергии был той путеводной нитью, которая направляла поиски исследователей, уменьшала опасность сбиться с правильного пути и сделать ложные выводы. Без знания этого закона невозможно было бы овладеть огромными запасами энергии, скрытыми в атомных ядрах. И в наши дни гениальная мысль о сохранении материи в широком смысле слова раскрывается в новых конкретных формах.

Изучая свойства тел, великий русский ученый объяснил истинную причину таких свойств, как упругость газов, нагревание тел при трении и т. д.

Что происходит с телами при нагревании? Что такое теплота? Почему тела притягиваются к земле? Почему газ сопротивляется сжатию? Почему тело, выставленное на мороз, охлаждается? Эти вопросы особенно интересовали науку во времена Ломоносова.

В то время существовал один общий способ отвечать на все перечисленные выше вопросы. Для объяснения непонятных явлений наука располагала тогда целым набором таинственных «невесомых веществ», или, как их называли,

«материй». Например, существовали «невесомая тепловая материя», «невесомая материя упругости», «материя холода» и т. д. При помощи этих «материй» можно было на словах объяснить все, что угодно, по существу не объясняя ничего. Вас, допустим, интересует, почему вода в чайнике, поставленном на огонь, нагревается. Ответ готов: невесомая тепловая материя, выделяемая огнем, входит в воду, и вода нагревается.

Вы хотите знать, почему газ сопротивляется сжатию? Потому что в нем имеется невесомая материя упругости, которая и противится уменьшению объема, занимаемого газом.

Такое «объяснение» непонятных явлений напоминает рассуждения невежественного врача в одной из мольеровских комедий, который объяснял снотворное действие опия, содержащегося в зернах мака, тем, что опий «обладает усыпляющими свойствами»!

Ясно, что такого рода аргументы ничего не объясняют, не помогают понять, почему в природе происходят те или иные явления.

И вот с этими «невесомыми материями» и начинает борьбу Ломоносов. В своих сочинениях он доказывает, что и теплоту и упругость газов можно понять, не пользуясь таинственными «материями».

Объяснение оказывается очень простым, если на помощь призвать атомное учение.

В XVIII веке атомное учение сделало значительный шаг вперед, стало конкретной научной гипотезой. Ломоносов был одним из первых, кто связал представления об атомах с экспериментальными данными о составе и свойствах различных веществ. Атомная теория Ломоносова является органической частью всего его материалистического учения.

Ломоносов считал, что все тела состоят из мельчайших частиц, или, как он их называл, «корпускул». Корпускулы чрезвычайно малы, и потому даже в небольшом количестве вещества их должно быть очень много. Но корпускулы — это еще не самые малые частицы вещества. Они состоят из еще более мелких частиц — «элементов». Таким образом, корпускулы — это то, что мы теперь называем молекулами, а элементы — атомы.

Свойства тел и явления природы Ломоносов объясняет движением и взаимодействием частиц материи. Фактически основой его атомной теории стало положение о неразрывности материи и движения в противоположность старой теории, считавшей движение чем-то внешним и по отношению к атомам.

Сходных взглядов придерживался современник Ломоносова, талантливый швейцарский физик, член Петербургской Академии наук Даниил Бернулли. Однако большинством иностранных ученых идеи Ломоносова были встречены чрезвычайно враждебно. В 1754 году некий Арнольд для получения ученой степени в Эрлангенском университете

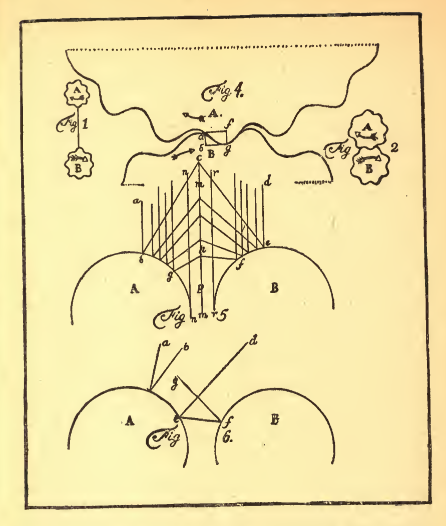


Рис. 3. Так представлял себе Ломоносов столкновения и взаимодействия молекул.

(Германия) написал сочинение, в котором «с успехом доказал» неправильность объяснения теплоты, которое было дано Ломоносовым.

Но беспристрастный суд истории показал, что прав был Ломоносов: учение об атомах завоевало всеобщее признание.

Однако это произошло далеко не сразу.

Первоначально атомное учение прочно укрепилось в химии. Этому много способствовали труды английского ученого Джона Дальтона, который убедительно показал, какие замечательные перспективы

открывает применение атомного учения в химии. Сложные законы химических превращений делались простыми и ясными, стоило только признать, что вещество состоит из мельчайших неделимых частиц. Атомное учение позволяло узнавать состав сложных соединений, сознательно искать пути получения новых веществ, предвидеть возможный результат химических превращений.

Атомное учение дало возможность не только объяснить открытые опытным путем законы, определяющие поведение вещества, но и предсказать новые явления и закономерности, до того неизвестные.

Однако и это не обеспечило признания реальности атомов. Еще во второй половине прошлого столетия идеалисты разных мастей всячески пытались помешать распространению атомного учения. Многие горе-теоретики утверждали, что атомы — это плод человеческой фантазии, а успехи атомной теории — всего лишь случайная удача предположения, не имеющего под собою твердой почвы.

Только в результате длительной и напряженной борьбы, в которой атомное учение отстаивалось передовыми исследователями различных стран, оно сделалось общепризнанным.

В этой борьбе особенно велики заслуги английского физика К. Максвелла, немца Р. Клаузиуса, австрийского физика Л. Больцмана, польского ученого М. Смолуховского и ныне умершего друга Советского Союза француза Ж. Перрена.

Совместная работа лучших ученых мира подтвердила гениальную мысль Михаила Васильевича Ломоносова о том, что свойства тела определяются свойствами образующих его частиц, их расположением и движением.

Молекулы

Итак, все в мире состоит из мельчайших частиц, называемых молекулами.

Если делить крупинку сахара или каплю воды на все более и более мелкие части, то рано или поздно мы получим предельно малые частицы, еще сохраняющие свойства сахара и воды. Это и будут молекулы.

Насколько малы мельчайшие частицы вещества и как много их в любом теле, можно видеть из такого примера. Представьте себе, что мы взяли стакан воды и при помощи особой краски переметили все находящиеся в нем молекулы. Выльем этот стакан воды в океан и перемешаем воду равномерно между всеми океанами, морями и реками мира. Если теперь в любом месте зачерпнуть стакан воды, то в нем окажется около сотни знакомых нам меченых частиц.

Молекулы так малы, что трудно даже представить себе наличие у них сложного строения. А между тем они действительно состоят из еще более мелких частиц, которые теперь и называются атомами.

Однако если разделить молекулы на атомы, то присущие

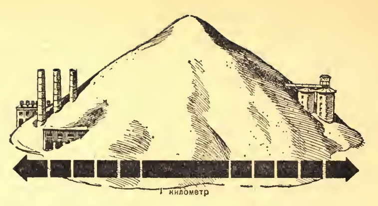


Рис. 4. Если сложить вместе столько песчииок, сколько содержится молекул воздуха в одном кубическом саитиметре, то получится куча, которая закроет большой завод.

данному веществу свойства будут потеряны. Частица воды распадается на атом кислорода и два атома водорода. Водород и кислород — газы; по своим свойствам они совсем не похожи на воду.

Физические и химические свойства молекул зависят от того, из каких атомов они состоят. Надо только помнить, что при образовании частицы свойства входящих в ее состав атомов могут очень сильно изменяться. Именно этим отличается химическое соединение веществ от их простой механической смеси.

На рисунке 5 изображены молекулы веществ, знакомых нам из повседневной жизни. Частица углекислого газа получается в результате соединения атома углерода с двумя атомами кислорода. В молекуле химического вещества, называемого бензолом, содержится шесть атомов углерода и шесть атомов водорода. А частица кислорода состоит всего из двух одинаковых атомов.

Если заменить хотя бы один из атомов, входящих в молекулу, другим, свойства ее изменятся. Молекула воды состоит, например, из одного атома кислорода и двух атомов водорода (рис. 6). Если обменять в ней один из атомов водорода на атом металла

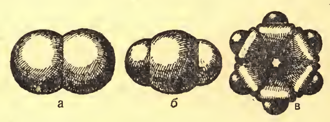


Рис. 5. Модели молекул: *а* — кислорода, *б* — углекислого газа, *в* — бензола.

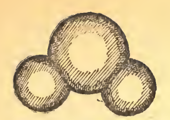


Рис. 6. Молекула воды.

натрия, то получится частица вещества, называемого едким натром, или едкой щелочью. Это твердое вещество, по своим свойствам совершенно не похожее на воду. В отличие от воды едкий натр химически чрезвычайно активен и потому потребляется в колоссальных количествах самыми различными отраслями химической промышленности. Он энергично взаимодействует с человеческой кожей, делая ее скользкой. При длительном соприкосновении едкого натра с кожей на ней возникает болезненный ожог. Шерстяная ткань едким натром быстро разрушается. А в расплавленном состоянии он разъедает стеклянную и фарфоровую посуду. Не правда ли, едкий натр совсем не похож на воду?

Свойства молекулы изменяются и в том случае, если присоединить к ней добавочно те же самые атомы, какие в ней уже имеются. Так, например, если к молекуле воды добавить еще один атом кислорода, то возникнет соединение, называемое перекисью водорода.

Перекись водорода — очень сильный окислитель. Бумага, древесные опилки и другие горючие вещества воспламеняются при ее действии.

Окислительные свойства перекиси водорода позволяют использовать ее в медицине для дезинфекции: она убивает болезнетворные бактерии, почти не повреждая при этом дезинфицируемую ткань. Применяется перекись водорода и для беления шелка, слоновой кости, мехов и некоторых других материалов. В последнее время она используется в качестве составной части топлива в жидкостных реактивных двигателях.

Мы убеждаемся, таким образом, что свойства частицы воды действительно очень сильно изменяются после того, как к ней присоединится еще один атом кислорода, несмотря на то, что таковой в ней уже присутствовал.

Свойства молекул зависят не только от того, какие атомы входят в их состав, но и от того, как они расположены. В этом можно убедиться, рассмотрев две молекулы, изображенные на рисунке 7. Состав этих частиц одинаков, но свойства различны. Причиной тому — разное расположение атомов.

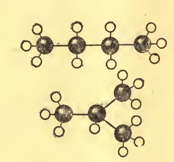


Рис. 7. Две молекулы, различающиеся расположением атомов.

Располагаются атомы в молекулах не как угодно. Их размещение подчиняется определенным законам. В приведенном примере возможны только два расположения, а следовательно, только две различные молекулы с одним и тем же составом. При увеличении числа атомов количество возможных расположений быстро возрастает. Так, у молекулы, состоящей из 13 атомов углерода и 28 атомов водорода, возможны уже 802 различных расположения, и, значит, у вещества с таким составом мыслимы 802 различные частицы.

Молекулы некоторых веществ обладают замечательным свойством присоединять себе подобных. В результате такого соединения возникают гигантские молекулы, или, как их называют, макромолекулы. Химики умеют управлять реакцией образования макромолекул, изменяя их размеры, разветвленность, состав входящих в них групп атомов и т. д. Это дает им в руки возможность почти неограниченно изменять свойства получаемых продуктов. Среди созданных таким способом веществ мы встречаем строительные материалы, имитаторы ценных пород дерева, органические стекла, заменители металла в машиностроении, искусственные волокна, заменители кожи, лаки и клеи, материалы, из которых изготавливаются корпуса судов, автомобилей, самолетов и т. д.

Наряду с огромными макромолекулами существуют и совсем небольшие частицы, состоящие всего из одного атома. Как показало развитие науки, и эти, казалось бы, предельно малые крупинки материи имеют сложное устройство.

В глубь атома

Приподнять завесу, скрывающую внутреннее строение атомов, помогло изучение свойств вещества и в первую очередь особенностей прохождения электричества в жидких и газообразных телах.

Способность воздуха при определенных условиях проводить электрический ток была известна уже давно. В гигантских масштабах движение электрических зарядов, или, как говорят, электрический разряд, наблюдается во время грозы и называется молнией. Электрическую природу этого грозного явления убедительно доказывали замечательные опыты Франклина, Ломоносова, Рихмана.

Миниатюрную молнию несложно осуществить в лаборатории. Впаяйте по концам стеклянной трубки короткие кусочки проволоки и присоедините их к прибору, называемому индукционной катушкой. В трубке тотчас возникнет искра, напоминающая уменьшенную во много раз молнию.

Картина электрического разряда изменится, если из трубки удалить большую часть воздуха: проскакивающая с сухим треском искра исчезнет, а ее место займет равномерное свечение, знакомое нам по световой рекламе.

Прохождение электрического тока в газах убеждало в том, что атомы вещества содержат электрические заряды, способные разделяться.

Приходилось допустить, что мельчайшие крупинки вещества сами обладают сложным строением.

Изучение закономерностей электрического разряда и свойств возникающих при этом частиц таило новую неожиданность. Точные опыты доказали, что электричество, так же как и вещество, не может делиться неограниченно. Существуют предельно малые электрические заряды, своего рода атомы электричества.

Первыми были обнаружены атомы отрицательного электричества, названные электронами. Все электроны имеют одну и ту же массу и один и тот же заряд.

Как же располагается в атомах положительное и отрицательное электричество? Об этом приходилось только догадываться.

Атом представляли шариком, по которому равномерно распределялся положительный заряд, а электроны группировались в центре, занимая ничтожную долю атомного объема. Количество электронов зависело от величины положительного заряда и в разных атомах было различным. В зависимости от их числа электроны располагались или в один слой или в несколько. В то время считалось, что вещество атома распределено равномерно по всему его объему. Остроумными опытами ученые пытались выяснить детали описанной модели. Для этой цели, например, в плавающие на поверхности воды пробковые поплавки втыкали намагниченные иголки, которые должны были изображать электрон. Все северные полюсы магнитиков торчали из воды. Расположенный сверху, над иголками, южный полюс мощного магнита действовал на северные полюсы плавающих магнитиков так же, как положительный заряд атома на электроны. Как оказалось, магнитики располагаются при этом по вершинам правильных геометрических фигур: треугольников, четырехугольников... В некоторых случаях возникал один, а в других — несколько расположенных друг в друге многоугольников.

Первоначально электроны считались неподвижными. Позднее для лучшего объяснения свойств вещества предположили, что они движутся гуськом один за другим.

Несмотря на большую выдумку, затраченную на построение первых моделей атома, они оказались ошибочными. Выяснить детали строения атома помогло имевшее огромное значение для человека открытие самопроизвольного их распада и превращения.

Разрушающиеся атомы

В течение столетий в полутемных, наполненных ядовитыми испарениями лабораториях алхимики безуспешно пытались осуществить превращение

одних химических элементов в другие. Стремясь к богатству, они пытались приготовить из ртути золото. Время от времени мир облетала весть о якобы успешном решении этой задачи, но всякий раз радость победы быстро сменялась горечью разочарования: весть о получении золота оказывалась ошибочной.

Неудача бесчисленных попыток превратить один элемент в другой привела к мысли о невозможности подобного превращения. Последнее подтверждалось таким большим количеством наблюдений, что в прошлом веке принцип неизменности химических элементов делается основной заповедью научной химии. Отныне ни один уважающий себя ученый не пытался найти рецепт дешевого получения золота. И все же, как показало дальнейшее развитие науки, превращение элементов возможно. Правда, осуществить его удается совершенно иначе, чем это стремились сделать алхимики.

В конце прошлого века ученые обнаружили, что вечные и неделимые, как думал Демокрит, атомы способны самопроизвольно распадаться. Подобный распад происходил в природе непрерывно. Правда, замечательную способность к самопроизвольному превращению обнаруживали атомы только очень немногих веществ. Особенно интенсивно оно происходило у вещества, названного радием, впервые полученного Пьёром и Марией Кюри.

Атомы радия одни из самых больших среди встречающихся на земле атомов. Их превращение, или, как теперь говорят, радиоактивный распад, сопровождается особым излучением. Радиоактивное излучение удалось разделить на три рода лучей.

Первый род лучей, названный бета-лучами, оказался потоком уже знакомых нам электронов, летящих с большой скоростью.

Наряду с бета-лучами из распадающихся атомов радиоактивных веществ выбрасываются положительно заряженные частицы, получившие имя альфа-частиц. Воспользовавшись точными методами современной науки, ученые доказали, что альфа-частицы — это атомы легкого газа гелия, из которых удалены имевшиеся в них электроны.

Альфа-частицы движутся в пространстве с огромной скоростью, более чем в тысячу раз превышающей ту, которой обладает ракета, направляемая с Земли в космос.

Третий род лучей — гамма-лучи не имеют электрического заряда и по своей природе напоминают световые лучи.

Вот эти быстро движущиеся микроскопические частицы и явились в руках физиков тем зондом, с помощью которого они проникли внутрь атома.

Планетарная модель

В решении этой увлекательной задачи большая роль принадлежит английскому физику Эрнсту Резерфорду.

Резерфорда интересовало взаимодействие альфа-частиц с атомами различных веществ. Желая изучить это взаимодействие, он направил поток альфа-лучей на тончайший металлический листок, внимательно следя за его движением.

Результат опыта оказался совершенно неожиданным и столь же непонятным.

Что же увидел Резерфорд?

Большинство альфа-частиц проходило сквозь металлический листок, лишь незначительно изменяя направление своего двнжения. Однако среди них встречались и такие, которые прн соударении с листком отскакивали назад, как будто натолкнувшись на непреодолимое препятствие.

Необычность поведения этих частиц можно пояснить таким примером: предположим, что охотник, желая проверить бой вновь купленного ружья, выбрал бы в качестве мишени лист газетной бумаги. Представьте себе его удивление, если при выстреле дробинки начали бы рикошетом отскакивать от бумажного листа. Невольно закралась бы мысль, что в газетную бумагу вкраплены какие-то плотные частички, попадая в которые дробинки и отскакивают назад.

Металлический листок в опыте Резерфорда представлялся согласно принятой в то время модели атома состоящим из сложенных вплотную один к другому шариков, наподобие намазанной на хлеб икры. Если мельчайшие крупинки вещества имели бы такое строение, то летящие с огромной скоростью альфа-частицы должны были пробивать металлический листок, а не отскакивать от него в обратную сторону.

Действительно, прежде чем начать двигаться в обратную сторону, альфа-частица должна обязательно остановиться. Но что ее остановит? Очевидно, это может сделать отталкивание положительных зарядов, находящихся в атоме. Сила отталкивания электрических зарядов возрастает при уменьшении расстояния между ними. Простым расчетом можно показать, что для остановки быстро движущейся альфа-частицы расстояние между нею и расположенным на ее пути положительным зарядом должно быть ничтожно малым по сравнению с размерами атома. А так как это расстояние измеряется от центра атома-шарика, по объему которого, как думали, располагаются положительные заряды, то альфа-частицы проникали бы внутрь атома раньше, чем силы отталкивания делались бы достаточными для их остановки. В этих условиях частицы не должны были бы так резко изменять свое движение. Объяснить, почему некоторые из них отбрасываются назад, сохраняя неизменной модель атома, было невозможно.

Хотя трудно было отказаться от представлений, уже утвердившихся в науке, но другого пути не было, и Резерфорд смело предложнл новую модель строения мельчайших частиц материи.



Рис. 8. Модель атома Резерфорда.

Он предположил, что в центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточено практически почти все вещество. Вокруг ядра с очень большой скоростью двигаются мельчайшие отрицательные заряды — электроны. Масса электронов ничтожно мала по сравнению с массой атомного ядра. У самого легкого из атомов — атома водорода — она в 1 838 раз меньше массы атомного ядра.

Заряд атомного ядра различен у атомов разных веществ, а так как он всегда должен уравновешиваться противоположным по знаку зарядом электронов, то последних в разных атомах и по новой модели было разное количество.

Атом Резерфорда внешне напоминал солнечную систему. Ядро играло роль Солнца, электроны — планет. Неудивительно, что эта модель была названа планетарной.

В солнечной системе расстояния от Солнца до планет очень велики по сравнению с их собственными размерами. Такое же соотношение наблюдается и в атомах. У водорода поперечник ядра составляет всего одну десятитысячную часть поперечника атома. Это означает, что если увеличить атом водорода до размера комнаты, то для рассмотрения ядра пришлось бы все же вооружиться лупой. Действительно, в атоме с поперечником в 4 метра ядро имело бы диаметр около половины миллиметра.

Человека, который мог бы наблюдать атомный мир, поразила бы царящая там пустота: на сравнительно огромных расстояниях попадаются ничтожные островки — капельки вещества.

Еще более удивительными покажутся свойства этого мира, если учесть, что в этих капельках сосредоточено практически все вещество. Удельный вес, или плотность атомных ядер, должен быть сказочно велик. Составить наглядное представление о плотности ядерного вещества поможет такой пример: если сложить вместе совершенно плотно ядра всех атомов, составляющих нашу Землю, то все вещество Земли уместилось бы в шаре объемом около шести сотых кубического километра, то есть радиусом около 400 метров! В солнечной системе на долю Солнца приходится гораздо больше места, чем на долю ядра в атоме.

Атомы соединяются в молекулы

Углубляясь в изучение атомного мира, следует помнить, что эта область природы имеет свои собственные законы. Некоторые из них могут быть неизвестны в привычном для нас мире больших вещей и по-

тому казаться необычными и труднообъяснимыми.

Можно было бы думать, например, что в атомах различных веществ придется встретиться с произвольным расположением электронов, движущихся в одних случаях быстрее, а в других медленнее. Изучая природу, человек открыл, однако, что расположение и движение мельчайших частиц, образующих атомы, строго следует определенным законам, в некоторых случаях отличным от законов движения больших тел. Например, у атома водорода только один электрон, и, хотя ничто как будто не ограничивает его, он тем не менее может устойчиво двигаться только по совершенно определенным путям. Существуют как бы невидимые рельсы, ограничивающие его движение. Правда, электрон может приблизиться или удалиться от ядра, но при этом только перескочив с одной колеи на другую. Эти трассы устойчивого движения электронов, установленные самой природой, называют атомными орбитами.

У каждого атома есть свои собственные, характерные для него орбиты. У более тяжелых атомов большее количество электронов и соответственно больше орбит. Атом каждого вещества имеет свою собственную, порою весьма сложную архитектуру — электронную оболочку.

При сближении атомов характер движения входящих в них электронов изменяется. В одних случаях это изменение приводит к появлению сил отталкивания, а в других — притяжения. Иногда силы притяжения могут настолько возрасти, что атомы соединятся в молекулу.

Пусть, например, в электронной оболочке одного из двух сближающихся атомов имеется как бы лишний электрон, который может сравнительно легко покинуть своих собратьев. Допустим далее, что в электронной оболочке второго атома есть вакансия — свободное место, на котором может разместиться электрон, покинувший оболочку первого атома. При достаточном сближении слабо удерживаемый электрон первого атома будет действительно переходить ко второму. Потеряв электрон, первый атом приобретает положительный заряд, а второй, к которому электрон присоединится, — отрицательный. Возникшие заряженные электричеством противоположного знака атомы удерживают друг друга. Так образуются молекулы многих веществ.

Часто, однако, образование молекул происходит не в результате перехода электрона от одного атома к другому, а иначе. Электроны сближающихся атомов объединяются вместе и образуют одну, а иногда две или даже три электронные пары, принадлежащие одновременно обеим частицам. Эти электронные пары связывают атомы в молекулы. При изучении строения мельчайших частиц материи ученые уже давно задумывались над тем, не являются ли атомные ядра

и электроны теми предельно малыми крупинками материи, которыми ограничивается познание природы человеком? Нет! Мы знаем теперь, что ядра всех атомов, за исключением атома обычного водорода, состоят из более мелких частиц. Несомненно, что сам электрон имеет сложную структуру, познание которой является одной из очередных задач науки.

«Электрон, — как учил В. И. Ленин, — так же *неисчерпаем*, как и атом, природа бесконечна...»

Но в этой книге не будет рассказываться о необыкновенном мире микрочастиц, об их особенностях и свойствах.

Перед нами будет стоять иная задача: познакомиться с такими превращениями тел, при которых состав молекул остается неизменным. С этой целью мы для большей простоты условимся считать молекулы очень маленькими твердыми шариками с определенными, неизменными свойствами, не задумываясь над тем, как в действительности они устроены.

Несмотря на то, что молекулы нельзя было увидеть даже в самый сильный из обычных микроскопов, ученые нашли способы с полной достоверностью доказать их существование. А в недавнее время удалось построить замечательный прибор — электронный микроскоп, который увеличивает так сильно, что с его помощью можно увидеть и отдельные молекулы. На рисунке 9 изображены электронный микроскоп и сделанная при помощи его фотография частиц гриппозного вируса. Правда, такие молекулы — гиганты среди своих собратьев. Обычно же они настолько малы, что и в электронный микроскоп их невозможно увидеть.

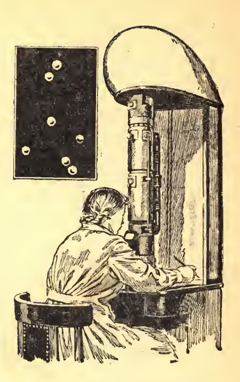


Рис. 9. Электронный микроскоп и полученная с его помощью фотография молекул гриппозного вируса.

Вечное движение

Каковы же свойства молекул?

«Первым и самым важным из прирожденных свойств материи является движение», — писали около ста лет назад Маркс и Энгельс. Не состав-

ляют исключения и мельчайшие частицы материи — молекулы; они тоже не находятся в покое, а непрестанно перемещаются. Движутся, очевидно, и частицы окружающего нас воздуха. При этом беспорядочном движении они непрерывно ударяются о нас, как бы обстреливают наши тела. Почему же мы не чувствуем этих ударов?

Объясняется это очень просто. Молекулы, как мы знаем, чрезвычайно малы и легки, и наши органы чувств не воспринимают слабых ударов отдельных молекул. Не чувствуем же мы увеличения тяжести надетой на голову шляпы, когда на нее сядет комар. А комар состоит из многих миллиардов молекул!

Другое дело, если быстро движущаяся молекула ударяется об очень маленькую частицу, по размерам сравнимую с ней. В этом случае удар уже не пройдет бесследно для частицы.

Каждый из вас не раз, конечно, наблюдал, как солнечный луч, попадая в темную комнату через щель ставни или неплотно задернутую штору, пронизывает воздух и делает видимыми множество находящихся в нем мельчайших пылинок. Какое беспорядочное движение открывается взору! Пылинки причудливо мечутся и кружатся, напоминая рой мошек в теплый летний вечер.

Такое же беспорядочное движение можно увидеть, если, вооружившись микроскопом, присмотреться к частичкам дыма обычной папиросы.

И такое же причудливое движение совершают мельчайшие частицы, если поместить их в жидкость. Сложные, запутанные узоры выписывают, например, частицы цветочной пыльцы, высыпанной в воду.

Пылинки неутомимы в своем движении! Сколько бы времени вы ни наблюдали их — час, день, неделю, они с одинаковым усердием будут продолжать свою бесконечную пляску. В чем причина этого движения? Что заставляет частицы постоянно изменять свой путь, неожиданно бросаться в сторону, как будто наскочив на невидимое препятствие?

На первый взгляд ответ очень прост: ведь окружающий нас воздух никогда не бывает абсолютно спокоен. Даже когда нет ощутимого ветра, потоки теплого и холодного воздуха движутся навстречу друг другу и взаимно перемешиваются. Такие же тепловые потоки наблюдаются и в воде, нагретой в одном месте больше, чем в другом.

Не эти ли потоки заставляют пылинки двигаться? Ну что же, это можно проверить. Возьмем стакан с водой, к которой подмешана цветочная пыльца, обмотаем его ватой, чтобы защитить и от нагревания и от охлаждения, и поставим на стол вдали от окна. Пройдет несколько часов, и вся жидкость сделается одинаково нагретой: тепловые потоки в ней исчезнут. Вероятно, и наши пылинки, не увлекаемые более потоками, перестали двигаться? Но вооружимся

микроскопом, и мы сиова увидим, что среди пылииок царит прежнее оживлеиие: как и раиьше, они беспорядочио мечутся, гоиимые какой-то иеведомой силой.

Значит, причиыа движеиия пылииок заключеиа ие в перемешиваиии жидкости или газа, вызваином разиой нагретостью его отдельиых слоев. Поищем другое объясиение этого загадочиого явления.

Не мы ли сами — причииа этого движеиия? Ведь стакаи, в котором наблюдается движеиие, стоит иа столе, и мы, расхаживая по комнате, закрывая и открывая двери, иепрерывно сотрясаем стол. А когда мы ие двигаемся, это за нас делают проезжающие по улице автомобили, трамваи, автобусы.

Чтобы избежать каких бы то ии было сотрясеиий, учеиые опускались в подземелья, где сосуд с жидкостью иаходился в полиом покое. Но и это ие могло остановить пылиики, оии по-прежиему метались неутомимо.

Если виимательно присмотреться к поведеиию пылииок, то в глаза бросится обстоятельство еще более страииое, чем их движеиие.

В самом деле, описаииое явлеиие можио наблюдать, подмешав к воде мельчайшие частицы любого вещества, нерастворимого в ней. Это вещество может быть и более тяжелым, чем вода. В последнем случае частицы должиы были бы потонуть и собраться на дне стакана. Одиако если мы проделаем такой опыт, например, с глииой, то убедимся, что часть частиц, вместо того чтобы упасть иа дио стакана, расположится так, как это изображеио на рисуике 10. Виизу их будет больше, наверху меньше. И такое расположеиие не меияется, сколько бы времеии мы ни иаблюдали!

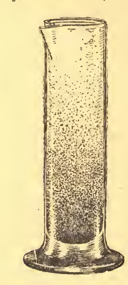


Рис. 10. Так располагаются мельчайшие частички в сосуде с водой.

Оказывается, частицы заставляет двигаться и не дает им упасть одна и та же причииа. Это удары о иих молекул воды.

Коиечио, причудливые движения каждой цветочиой пылинки возникают ие в результате ударов отдельиых молекул. Дело в том, что в каждое мгиовеиие об одиу из сторои пылинки ударяется или зиачительио больше молекул, чем о противоположиую, или же молекулы, движущиеся с большей скоростью. Все эти удары



Рис. 11. Схема броуиовского движеиия. На рисунке изображены положеиия частицы через равиые иебольшие промежутки времени.

складываются и заставляют пылинку двигаться в том направлении, в каком перемещаются избыточные или особенно быстрые молекулы.

Описанное движение мельчайших частиц было открыто известным шотландским ботаником Броуном и названо по его имени *броуновским.* А теория, объясняющая беспорядочное движение частиц под влиянием ударов молекул, была развита польским ученым М. Смолуховским.

Броуновское движение позволяет обнаруживать перемещение молекул так же, как дрожание листвы деревьев позволяет заметить даже слабое дуновение ветерка.

Со скоростью пули

В жизни мы привыкли чаще иметь дело с твердыми и жидкими телами и реже с газами. Поэтому первые нам представляются более простыми и понятными, чем неосязаемые и невидимые газы. Однако не все, к чему мы привыкли и считаем простым и ясным, является таким в действительности. Оказывается, газы имеют более простое строение, чем жидкости или твердые тела, поэтому поведение молекул газов легче изучить и понять.

Если бы мы построили микроскоп, в который можно было бы видеть отдельные молекулы, и стали бы с его помощью рассматривать спокойный воздух или какой-либо газ, то обнаружили бы в нем невообразимую сутолоку и суету. Молекулы газа движутся беспорядочно по всем направлениям с самыми различными скоростями. На первый взгляд здесь нет никакого порядка, никаких правил движения. Есть частицы быстрые, есть и медленные; и те и другие движутся по всем направлениям. Но если измерить скорости большого числа молекул, то окажется, что лишь совсем небольшая доля их движется очень быстро или очень медленно.

Важный для науки закон, который указывает, как распределяются молекулы по скоростям (то есть какая доля их движется медленно и какая быстро), был найден английским физиком К. Максвеллом.

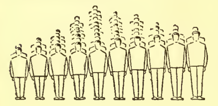
По этому закону подавляющее большинство частиц движется со скоростями, мало отличающимися друг от друга. Значит, без большой ошибки можно считать, что все молекулы движутся с одной и той же *средней скоростью.*

Сказанное можно пояснить

таким примером. Если собрать всех только что призванных в армию солдат одного года рождения, построить их рядами так, чтобы в каждом ряду стояли солдаты, рост которых различается не более чем на сантиметр, затем ряд самых высоких поставить справа, а самых низких — слева, то окажется, что новобранцев очень высокого и очень маленького роста только несколько человек, а чем ближе к середине, тем длиннее ряды (рис. 12). У большинства призывников рост, близкий к среднему. Это правило оправдывается всегда, когда призывников достаточно много. Если же попытаться проверить сказанное, взяв десять-одиннадцать человек, то можно случайно встретиться со значительными отклонениями их роста от среднего.

Точно так же и замена различных скоростей молекул средней скоростью не будет приводить к ошибкам только в том случае, если частиц берется достаточно много, потому что тогда доля молекул со скоростями, значительно отличающимися от средней, будет невелика. Но даже в очень небольшом количестве газа, например в объеме, равном булавочной головке, содержится громадное число молекул, исчисляющееся цифрой с 16 нулями. Поэтому практически почти всегда можно без существенной ошибки считать, что все молекулы движутся с одной и той же средней скоростью.

Рис. 12. Распределение призывников в зависимости от их роста.



Какова же величина средней скорости движения частиц газа?

У разных газов она различна. Быстрее всего движутся молекулы легкого газа водорода. Медленнее — молекулы кислорода. Еще медленнее — углекислоты, тяжелого газа, образующегося при многих химических превращениях, и в частности при горении.

При обычной температуре молекула водорода пробегает в секунду около 2 километров, то есть почти 7 тысяч километров в час (рис. 13). Частица кислорода проходит около 1 800 километров в час. Скорость движения молекул углекислоты — 1 200 километров в час. Еще медленнее движутся частицы сложных веществ, например молекулы карбонила никеля проходят за час меньше 600 километров; как видите, ее легко обгонит современный самолет.

Эти числа вызывают законное удивление. В самом деле, молекулы водорода, двигаясь беспрепятственно, облетели бы Землю по экватору всего за 6 часов. Даже медленная частица углекислоты совершила бы это путешествие меньше чем за двое суток.

В то же время мы знаем, как медленно распространяют-



Рис. 13. При обычных температурах молекулы водорода движутся быстрее самолета и поезда.

ся запахи. Если невдалеке разольют бензин, то для того, чтобы запах дошел до нас, необходимо некоторое время. Но ведь скорость распространения запаха — это и есть как будто скорость движения частиц пахучего вещества в воздухе! Как же примирить быстрое движение молекул, проходящих сотни метров в секунду, с медленным распространением запаха?

«Очевидно, что отдельные атомы воздуха, взаимно приблизившись, сталкиваются с ближайшими... вторые атомы друг от друга отпрыгнули, ударились в более близкие к ним и снова отскочили; таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться во все стороны», — писал М. В. Ломоносов.

Распространение одного газа в другом, вызванное беспорядочным движением его частиц, называется диффузией.

Теперь нам понятно, почему диффузия происходит медленно. Соударение молекул! Вот в чем причина медленности диффузии. Хотя частицы газов и движутся с очень большими скоростями, им удается пройти без соударения лишь очень короткие пути — миллионные доли сантиметра. Соударения резко изменяют направление движения молекул, придавая пройденному пути причудливую, замысловатую форму.

Так, двигаясь очень быстро, но непрерывно меняя направление своего движения, молекулы как бы «толкутся» на месте. В этом суетливом движении они лишь очень медленно перемещаются вперед.

Чем чаще происходят соударения, тем медленнее диффундирует газ. В окружающем нас воздухе соударения молекул происходят очень часто. Если

бы мы попытались сосчитать удары, которые испытывает молекула только за одну секунду, и при этом условились тратить одну минуту на сосчитывание ста ударов, то понадобилось бы около двухсот лет.

А встречаемся ли мы где-либо с такими процессами, которые распространяются со скоростью движения молекул? Да, мы с ними постоянно встречаемся: с такой скоростью, например, распространяются в воздухе различные звуки.

Что такое звук и что происходит, допустим, когда гудит сирена?

При работе сирены сжатый воздух много раз в минуту вырывается наружу через специальные клапаны и вызывает смещение окружающих молекул воздуха. Подстегнутые толчками, эти молекулы не уходят, однако, далеко. Резко подавшись вперед, они смешиваются с частицами воздуха, расположенными перед ними, и поджимают их. В этих слоях на ничтожное мгновение оказывается гораздо больше молекул, чем было раньше, воздух при этом делается плотнее, давление в нем возрастает.

Сирена создает прерывистую струю сжатого воздуха, и в те моменты, когда она прерывается, в слое, расположенном рядом со сжатым слоем, на мгновение возникает недостаток молекул. Тогда рядом со сгущенным слоем с повышенным давлением возникает разреженный слой с пониженным давлением. Переменные смещения воздуха вызывают колебательные движения его частиц. Эти колебания передаются от одного слоя к другому. Так возникает звуковая волна. Толчок, или, как говорят физики, импульс, вызывающий возникновение чередующихся сжатий и разрежений, распространяется в воздухе со ско-

Рис. 14. Распределение молекул воздуха в звуковой волне.

ростью звука, которая, как это теперь ясно, равна скорости движения молекул. Чтобы это заключение было бы полностью справедливым, необходимо лишь учесть, что иногда, при соударениях молекул, они будут приходить во вращательное движение, а иногда атомы, образующие молекулу, могут при соударении начать колебаться. Эти обстоятельства делают скорость звука хотя и очень близкой, но все же отличной от скорости движения молекул.

Молекулы, летящие со скоростью пули, бесчисленные соударения, причудливый узор пути, своеобразный закон распределения молекул по скоростям — все это может заронить сомнение в реальность наших объяснений.

В науке установилось золотое правило — проверять опытом все предположения, как бы остроумны они ни были. Нет оснований делать исключение и для молекул. Надо измерить скорости движения мельчайших частиц, проверить, как распределяются эти скорости: какая доля молекул движется быстро, какая медленно.

Не фантазия ли это?

Однако как же измерить скорость движения молекул или атомов, если они столь малы, что невидимы даже в самый сильный микроскоп?

Вероятно, многие замечали, что стеклянный баллончик перегоревшей электрической лампочки часто бывает покрыт темным налетом. Отчего возникает этот налет?

Когда электрическая лампочка включена, металлический волосок, из которого исходит свет, сильно накален. От его поверхности непрерывно отрываются частицы металла — атомы. Они разлетаются в разные стороны и, ударяясь о стенку стеклянного колпачка, прилипают к ней. Так, волосок, теряя атомы, делается все тоньше и тоньше, а на стекле образуется постепенно утолщающийся слой осевших частиц металла. Когда этот слой сделается достаточно толстым, его можно будет различить глазом: мы увидим на стекле темный налет. Чем больше осядет атомов, тем налет будет темнее.

Чтобы лампочка горела много часов без появления на колпачке заметного налета, волосок ее делают из какого-либо тугоплавкого металла, например из вольфрама, у которого атомы с трудом отрываются от поверхности. Изготовив волосок из легкоплавкого металла, можно получить темный налет очень быстро.

Этим явлением и воспользовались ученые для измерения скорости движения частиц вещества.

Если из стеклянного баллончика очень тщательно откачать воздух, то оторвавшиеся от металла атомы будут долетать до стенки, не испытывая соударений. В этом случае путь каждой частицы будет известен: он начинается на поверхности волоска и оканчивается на стенке баллончика. Теперь,

чтобы определить скорость движения атомов, достаточно узнать время, которое затрачивают они на свое путешествие.

Для решения этой задачи был построен специальный прибор.

Справа от накаленного волоска расположена ширма с узкой щелью, а за нею на расстоянии нескольких сантиметров — экран. Ширма преграждает путь всем атомам, кроме тех, которые попадут в щель. За ширмой летящие частицы образуют узкий лучик. Осев на экране, они создадут несколько увеличенное темное изображение щели (рис. 15).

По существу, мы встречаемся здесь с тем же приемом, которым пользуются маляры при нанесении рисунка с помощью трафарета. Как известно, трафаретом называют пластинку, в которой сделано отверстие по форме желаемого рисунка. Приложив трафарет к стене, проводят по нему кистью с краской. Краска попадает на стену только в местах, соответствующих отверстиям

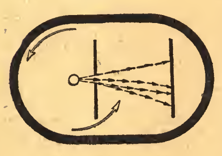


Рис. 15. Устройство прибора для определения скоростей молекул.

в трафарете. Сняв трафарет, мы видим на стене рисунок.

В описываемом опыте роль кисти с краской играет пучок быстро летящих атомов.

В неподвижном приборе изображение щели приходится как раз напротив нее самой.

Предположим, что прибор быстро вращается против часовой стрелки вокруг накаленного волоска. Каждый атом по-прежнему двигается прямолинейно. Щель при этом остается все время расположенной против одного и того же места на экране, но теперь за то время, которое требуется атому, чтобы, пройдя щель, долететь до экрана, весь прибор успеет слегка повернуться, и атом прилипнет не против щели, а несколько в стороне.

Если бы все летящие частички двигались с одинаковой скоростью, то изображение щели на экране, не изменившись по форме, сместилось бы на некоторое расстояние. Смещение было бы тем больше, чем медленнее двигались бы атомы и чем быстрее вращался бы прибор.

Зная число оборотов прибора в секунду, расстояние от щели до экрана и смещение изображения, можно вычислить скорость движения атомов.

Когда подобный опыт был произведен, то оказалось, что изображение щели не просто смещается, но одновременно со смещением размазывается (рис. 16). Причина этого ясна. Отдельные частицы движутся



Рис. 16. Изображение щели на экране приборчика.

с разными скоростями. В пучке летящих атомов будут встречаться движущиеся как быстро, так и медленно. Первые попадут на экран, сместившись немного, вторые — значительно. В результате вместо резкого изображения на экране появится размытая полоска. Присмотревшись к ней, мы заметим, что окраска полоски не одинакова. Ясно выступает более темная часть, на которую упало, очевидно, большее количество атомов. Все эти атомы двигались со скоростями, близкими друг к другу. Если какой-либо участок полоски в два раза темнее, чем другой, то это означает, что на него упало в два раза больше атомов, чем на тот, который светлее. А так как каждому участку полоски соответствует определенная скорость движения атомов, то, разделив полоску на отдельные участки и сравнивая их потемнение, можно проверить, как распределяются скорости атомов.

Совершенствуя описанный опыт, ученые подтвердили правильность атомного учения и, в частности, справедливость закона распределения молекул по скоростям.

Мы уверены теперь в том, что большая часть атомов или молекул движется со скоростями, не очень сильно отличающимися от средней скорости.

Но от чего же зависит сама средняя скорость? Можно ли ее изменить: увеличить или уменьшить?

Что такое теплота?

В обыденной жизни мы различаем тела теплые и холодные. Но что же такое теплота?

Сторонники тепловой материи отвечали на этот вопрос просто: теплота — особое невесомое вещество. Вещество это называется калориком. Прибавьте к телу калорик, оно нагреется, отнимите — остынет. Как некая оболочка, напоминающая атмосферу нашей Земли, окружал калорик атомы вещества.

Первоначально лишь немногие ученые догадывались об истинной природе теплоты, понимали, что никакого калорика в природе не существует.

«Очень хорошо известно, — говорил Ломоносов, — что теплота возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремния об огниво появляются искры; железо накаливается докрасна от проковывания частыми и сильными ударами, а если их прекратить, то теплота уменьшается...»

Движение молекул — вот истинное объяснение теплоты. Именно его предложил Ломо-

носов вместо излюбленной в то время «невесомой материи теплоты».

Отличие обычного движения какого-либо тела от того специфического движения, которое мы называем теплотой, заключается в том, что в первом случае все частицы тела перемещаются согласованно вдоль определенных путей. При тепловом же движении молекулы носятся полностью неупорядоченно, путь любой из них никак не связан с направлением перемещения ее соседей. Полная хаотичность — вот что характеризует движение частиц вещества, называемое тепловым движением, или теплотою.

Новизна и революционность мысли Ломоносова вызвали яростные нападки со стороны большинства зарубежных ученых.

Наиболее талантливые современники поняли и оценили значение идей Ломоносова, но официальная зарубежная наука в лице академий и университетов их отвергла. Гениальный математик, член Петербургской Академии наук Леонард Эйлер, которому Ломоносов послал свои сочинения, писал о его работах, что они «не токмо хороши, но и весьма превосходны, ибо он пишет о материях физических и химических, весьма нужных, которые поныне не знали и истолковать не могли самые остроумные люди... Желать должно, чтобы и другие Академии в состоянии были произвести такие откровения, какие показал г-н Ломоносов».

В наше время представление о теплоте тесно связывают с одной из важнейших физических величин, а именно — с энергией.

Энергией называют способность тела совершать работу. Такой способностью обладает, например, подтянутая вверх гиря стенных часов. Предоставленная самой себе, она опускается вниз, совершая работу и заставляя стрелки часов двигаться. Очевидно, поднимая гирю вверх, мы наделяем ее способностью производить работу, сообщаем ей энергию.

Энергией обладает и сжатая пружина ручных часов. Она тоже заставляет двигаться стрелки часов. В этом случае энергия запасается тогда, когда часы заводят, закручивая пружину.

Таких примеров можно было бы привести множество. И во всех случаях легко видеть, что изменение энергии тела оказывается связанным с работой, которую затрачивают, если энергия возрастает, или с работой, которую получают, если она уменьшается.

Существует, однако, и другой способ изменения энергии. Если сообщить телу какое-то количество теплоты, оно нагреется. А мы знаем, что нагретое тело тоже может совершать работу: оно обладает энергией. Эта способность была известна человеку очень давно.

Знаменитый изобретатель древности Герон Александрийский, живший во II веке нашей эры, сконструировал первую паровую турбину, названную им «эолипил». Это был желез-

ный шар, который мог вращаться вокруг оси (рис. 17). К противоположным сторонам шара прикреплялись согнутые под прямым углом трубки; через них выходил пар, поступавший из специального резервуара по опоре, служившей осью. Вырывающийся с большой скоростью пар заставлял шар вращаться. Изобретение Герона не нашло себе практического применения и осталось забавной игрушкой.

Великий итальянский художник и ученый Леонардо да Винчи оставил нам проект паровой пушки, которую он называл «сверхгром». Пушка да Винчи состояла из медной толстостенной камеры. Спереди камера имела отверстие с прикрепленным к нему желобом. В отверстие вкладывалось ядро. «Сверхгром» окружался горящими углями. Когда медь достаточно накалялась, в камеру впускалась вода, мгновенно превращавшаяся в пар, который, как пишет Леонардо,



Рис. 17. Эолипил Герона Александрийского.

«производил чудеса, оглушая громом и треском». Это орудие кидало ядра весом около 50 килограммов приблизительно на километр.

В наше время способность нагретого тела совершать работу широко используется человеком в различных тепловых машинах.

Итак, энергия может изменяться или в результате совершения работы или же в результате сообщения либо отвода от тела некоторого количества теплоты. Обычно эту связь выражают законом, утверждающим, что *изменение энергии равно теплоте, сообщенной телу, за вычетом той работы, которая при этом совершена.*

Если изменение энергии обозначим значком W, сообщенное телу количество теплоты — Q, а совершенную работу — A, то сформулированный нами закон запишется так:

$$W = Q - A.$$

Закон указывает на связь между тремя важнейшими физическими величинами, с которыми приходится иметь дело человеку. Если при нагревании работа не совершается, то сообщенное количество теплоты в точности равно изменению энергии тела.

Но как же измерить сообщенное тепло?

Обычно о тепле и холоде мы судим по нашим ощущениям. Однако такое суждение очень неточно. В самом деле, когда мы заходим с мороза в комнату, даже плохо натопленную, нам кажется, что

в ней тепло. Когда же мы утром встаем из теплой постели, в той же комнате нам кажется холодно.

Можно проделать еще такой опыт: взять три чашки, наполнить первую холодной водой, вторую — теплой и третью — горячей. Если теперь вы опустите правую руку в чашку с горячей водой, а левую в чашку с холодной и, подержав их там некоторое время, перенесете обе руки в чашку с теплой водой, то, если верить ощущению правой руки, вода в чашке холодная, для левой же руки она горячая. Возникает затруднительное положение: какой из рук верить? Вот поэтому-то для суждения о степени нагретости тела пользуются *термометром*.

Термометры

Первый термометр был изобретен Галилеем в конце XVI столетия. Для этого он взял тонкую стеклянную трубочку с шариком на одном конце (рис. 18), шарик слегка подогрел, после чего открытый конец трубки опустил в стакан с водой. Когда температура шарика понизилась до комнатной, вода поднялась по трубочке и остановилась на определенном уровне. При изменении температуры уровень воды в трубочке перемещался: при повышении — опускался вниз, при понижении — поднимался вверх.

Обычный термометр устроен несколько иначе. Он представляет собою узкую трубочку, заканчивающуюся снизу шариком, заполненным какой-либо жидкостью — чаще всего ртутью или спиртом. Бывают термометры, наполненные и другими жидкостями.

При нагревании жидкость расширяется и поднимается по трубке. Чем больше нагрев, тем выше поднимается жидкость. Поместив сзади трубочки линейку с делениями, можно определять степень нагретости тела, или, как говорят, *измерять температуру*, в градусах.

Наиболее часто за 0 градусов принимают температуру тающего льда, а за 100 градусов — температуру водяного пара около поверхности кипящей воды при нормальном атмосферном давлении (в одну атмосферу). По этому термометру указывают температуру воздуха в сводках погоды, которые мы ежедневно слышим по радио.

Ученые и инженеры в своей работе часто пользуются электрическими термометрами.

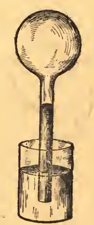


Рис. 18. Термометр Галилея.

Когда по металлической проволочке течет электрический ток, проволочка оказывает ему сопротивление. Чем оно больше, тем меньше величина тока.

Сопротивление проволочки, в свою очередь, зависит от температуры: при нагревании оно увеличивается. Поэтому, измеряя с большей точностью сопротивление, можно определять даже очень незначительные изменения температуры.

Измеряют температуру и электрическим током, возникающим в том случае, когда разные части проводника, сделанного из различных металлов, имеют разную температуру.

Если к концам железной проволочки припаять медные, как это изображено на рисунке 19, и поддерживать места спаев при разной температуре, то в проволочках возникнет электрический ток, величину которого можно измерить, подключив для этого специальный прибор. Ток будет тем больше, чем больше разность температур спаев. Электрический ток, возникающий в результате разности температур спаев, называется термоэлектрическим, а описанный нехитрый прибор — термопарой. Если один из спаев термопары поддерживать при определенной температуре, то по показаниям присоединенного к ней прибора можно определить температуру второго спая.

Термопары собирают в специальные батареи, называемые термостолбиками. С помощью термостолбиков можно измерять температуры почти со сказочной чувствительностью: миллионные доли градуса уже замечает этот прибор.

Итак, мы говорим, что температура теплого тела выше, чем температура холодного. Сторонники «тепловой материи» объясняли эту разницу в температуре очень просто: в теплом теле «тепловой материи» больше, чем в холодном.

А как объяснить эту разницу с современной, или, если быть справедливыми, с ломоносовской, точки зрения?

От чего зависит температура?

Как вы уже знаете, можно без большой ошибки считать, что все молекулы в газе дви-

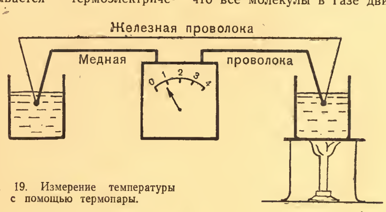


Рис. 19. Измерение температуры с помощью термопары.

жутся с одной и той же средней скоростью. Если сравнить две порции какого-либо газа, взятые при разных температурах, то окажется, что средние скорости движения молекул в них будут различны. Чем выше температура газа, тем больше средняя скорость движения его молекул. Так, средняя скорость движения молекул кислорода, нагретого до 100 градусов тепла, будет почти в полтора раза больше, чем средняя скорость молекул того же кислорода, охлажденного до 100 градусов мороза.

Вполне законно поэтому сказать, что температура газа является непосредственной мерой средней скорости движения его частиц. При этом, однако, надо помнить, что учитывается только средняя скорость беспорядочного движения молекул, только она определяет температуру.

Если взять бутылку, наполненную воздухом, и закрыть горлышко пробкой со вставленным в нее термометром, то можно, быстро двигая бутылку, придать всем частицам, находящимся в ней, добавочную скорость. Однако, смотря время от времени на термометр, вы легко убедитесь в том, что движение бутылки не вызывает повышения температуры. Это вполне понятно: ведь скорость беспорядочного движения молекул в нашем опыте не изменилась, а общее всем им движение вместе с бутылкой на температуру не влияет.

Хорошо известно, что, если привести в соприкосновение две порции одного и того же газа, одна из которых холодная, а другая горячая, то первая нагреется, а вторая остынет, и температура смеси станет одинаковой.

Это объясняется тем, что более быстрые молекулы нагретого газа, ударяя медленные молекулы холодного, отдают им часть своей энергии и благодаря этому сами начинают двигаться медленнее, «ибо тело, движущее своей силой другое, столько же оной у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает», — писал Ломоносов.

Спустя некоторое время в результате бесчисленных соударений установится общая всем частицам смеси средняя скорость. Она будет больше, чем у молекул холодной, но меньше, чем у молекул горячей порции газа, до их смешения, и именно она определит температуру смеси.

У читателя, естественно, возникнет вопрос: а что произойдет в том случае, если привести в соприкосновение два разных газа, имеющих одинаковую температуру? Сравняются ли при этом средние скорости молекул обоих газов? Оказывается, этого не произойдет.

Очевидно, наше простое определение температуры требует уточнения.

Чтобы определить точно, что такое температура, придется начать издалека.

Всякое движущееся тело способно совершить работу, оно обладает кинетической энергией. Не составляют исключения и движущиеся ча-



Рис. 20. Температура различных тел. На центральном рисунке указана температура атомного взрыва.

стицы газов: они тоже обладают кинетической энергией.

Чем быстрее движется тело, тем больше его кинетическая энергия. Из двух тел, движущихся с одинаковой скоростью, кинетическая энергия больше у того, масса которого больше, которое тяжелее.

Вычислить кинетическую энергию тела несложно: для этого надо массу тела умножить на квадрат его скорости и полученный результат разделить пополам (рис. 21).

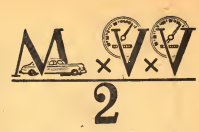


Рис. 21. Так измеряется кинетическая энергия тела. M — масса тела, V — его скорость.

Как показывают точные вычисления, температура газа является мерой средней кинетической энергии поступательного движения его молекул.

При одинаковой температуре средние кинетические энергии поступательного движения молекул всех газов равны. Понятно, что при этом более тяжелые частицы движутся медленнее, более легкие — быстрее. Если массы молекул различаются весьма значительно, то может оказаться, что средняя скорость частиц более холодного газа больше, чем у газа теплого. Для этого, конечно, необходимо, чтобы масса молекул холодного газа была много меньше, чем у теплого. Так, молекулы водорода при температуре 15 градусов движутся со средней скоростью 1 740 метров в секунду, в то время как у тяжелого газа хлора даже при 100 градусах они проходят за секунду всего около 1 000 метров.

Зная, от чего зависит температура, можно сделать два важных заключения.

Повышая температуру газа, мы повышаем скорость движения его частиц, и поскольку скорость можно увеличивать до очень больших значений, постольку возможны, очевидно, и очень высокие температуры. Известно, что астрономы предполагают внутри звезд температуры, исчисляемые миллионами градусов.

С другой стороны, то же самое движение, как писал Ломоносов, может настолько уменьшиться, что никакое дальнейшее уменьшение его будет невозможно. И Ломоносов совершенно правильно заключил, что «по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода».

Следовательно, нельзя безгранично охлаждать газ. Рано или поздно мы достигнем такой его температуры, когда скорость теплового движения молекул уменьшится до нуля. Дальнейшее охлаждение станет невозможным. Как оказалось, минус 273,16 градуса по Цельсию и есть та температура, при которой прекращается беспорядочное тепловое движение молекул вещества. Температуру, которая на 273,16

градуса ниже обычного нуля, называют абсолютным нулем.

Не думайте, однако, что при абсолютном нуле полностью исчезнет движение — это прирожденное свойство материи. Нет! Исчезнет только тепловое движение, частицы вещества будут продолжать двигаться, но теперь уже независимо от температуры.

Свойства веществ при очень низких температурах сильно изменяются. При температуре, скажем, около минус 200 градусов резиновый мячик делается хрупким; свинцовый колокольчик звенит при этой температуре, будто сделан он из серебра, и т. д.

Итак, нагретость тел мы сравниваем по их температуре.

Но можно ли сказать, что в теле, температура которого выше, чем у другого, и теплоты будет больше? Ответить можно лишь после того, как познакомимся еще с одним важным свойством тел — их теплоемкостью.

Теплоемкость

Никто не видел, чтобы вода в чайнике, стоящем на столе, закипела сама собой. Значит, тело нагревается, то есть температура его повышается только после того, как ему сообщат какое-то количество теплоты. Теплоту можно получить различными способами. Чаще всего для этого сжигают топливо — дрова, керосин, газ — или пропускают электрический ток через специальный нагреватель.

Чем больше теплоты мы сообщим телу, тем выше поднимется его температура.

Однако если одно и то же количество теплоты сообщать разным телам, то повышение температуры у них будет различно. Все это можно объяснить, если правильно определить, что такое температура, и опираться в своих рассуждениях на атомное учение.

Когда телу сообщается теплота, средняя кинетическая энергия его молекул возрастает, и, следовательно, повышается температура.

Один из основных законов природы — закон сохранения и превращения энергии — утверждает, что энергия не может создаваться из ничего; следовательно, без сообщения телу энергии температура его не поднимется.

Если одно и то же количество теплоты сообщить поочередно двум порциям какого-либо газа, одна из которых содержит молекул значительно больше, чем другая, то в первом случае теплота распределится между большим числом частиц, так что на долю каждой из них придется меньшее ее количество, и средняя кинетическая энергия их возрастет меньше, чем во втором случае. Другими словами, если в нагреваемом теле молекул много, температура возрастет незначительно. Наоборот, если их мало, то подъем температуры будет велик.

Обычно массу вещества измеряют в граммах. В одном грамме различных газов содержится разное число молекул, а потому для одинакового по-

вышения их температуры необходимо разное количество теплоты.

Количество теплоты, необходимое для нагревания одного грамма какого-либо вещества на один градус, условились называть удельной теплоемкостью этого вещества.

Удельную теплоемкость воды приняли равной единице. Поэтому то количество теплоты, которое идет на нагревание одного грамма воды на один градус, приняли за единицу количества теплоты, ее назвали малой калорией. Тысяча малых калорий составляет большую калорию, или килокалорию.

При сгорании различных веществ выделяется разное количество калорий. Все знают, что если топить печь каменным углем, то тепла будет больше, чем если ту же печь топить дровами. Это и понятно. Ведь при сгорании одного грамма древесины выделяется от 4 тысяч до 4 800 калорий, а при сгорании одного грамма каменного угля — от 7 до 8 тысяч калорий, то есть почти в два раза больше.

Особенно много теплоты выделяется при ядерных превращениях, которые происходят в атомном котле или атомной бомбе. При расщеплении одного килограмма урана в атомном котле выделяется столько же теплоты, сколько при сгорании 20 тысяч тонн угля! Это поистине огромное количество. Атомная силовая станция мощностью в 100 тысяч лошадиных сил потребляет в день всего от 75 до 350 граммов урана!

Удельная теплоемкость газа зависит не только от числа молекул в одном грамме, но также и от их строения. Это легко пояснить.

Молекула, состоящая из одного атома, может только перемещаться. Атом настолько мал, что не имеет смысла говорить о его вращении.

Напротив, когда мы имеем дело с молекулой, состоящей из двух атомов, игнорировать ее вращение нельзя. Кинетическая энергия двухатомной молекулы будет уже складываться из кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращения. Поэтому теплоемкость двухатомных газов при одной и той же массе молекул будет больше, чем одноатомных, а трехатомных — больше, чем двухатомных.

В заключение необходимо сделать одно важное замечание, без учета которого легко совершить ошибку.

Предположим, что требуется ответить на такой, казалось бы, простой вопрос: к двум совершенно одинаковым телам подводят одинаковые количества теплоты, — можно ли быть уверенным в том, что температура обоих тел поднимется на одно и то же количество градусов?

Не торопитесь с ответом!

Мы уже говорили, что изменение энергии тела равняется сообщенной ему теплоте за вычетом той работы, которую оно при этом совершит. Если при нагревании объем, занятый веществом, увеличивается, то часть теплоты превращает-

ся в работу, с которой связано расширение. Естественно, что при таком способе нагрева увеличение кинетической энергии движения молекул и соответственно возрастание температуры будут меньше, чем в том случае, когда объем вещества поддерживается постоянным. Но если это так, то придется признать, что одно и то же тело будет обладать разной теплоемкостью, если его нагревать при разных условиях. И это действительно правильно. Строго говоря, каждое вещество может иметь бесконечно много удельных теплоемкостей, соответствующих бесконечному разнообразию условий нагревания.

Возникает вопрос: а какие же величины теплоемкостей приводятся в многочисленных физических и технических справочниках? Оказывается, в них обязательно указывается, при каких условиях нагревалось тело, для которого приводится величина теплоемкости.

У газообразных тел теплоемкости часто определяются при условии, что нагревание происходит без изменения объема. В этом случае вся сообщенная теплота превращается в энергию беспорядочного движения молекул. Такая теплоемкость называется теплоемкостью при постоянном объеме.

Изучение теплоемкостей различных веществ играет большую роль в процессе познания строения вещества. Измеряя их, можно выяснить характер движения, которое совершают мельчайшие частицы — атомы и молекулы, узнать, как изменяется оно в зависимости от внешних условий, при переходе вещества из одного состояния в другое.

Молекулярная артиллерия

Газы и пары играют важную роль в различных машинах. Водяной пар толкает поршень в цилиндрах паровых машин, приводит в движение турбины. Газы, образующиеся при сгорании топлива, заставляют работать двигатели внутреннего сгорания, приводя в движение автомобили, тракторы, самолеты. Вылетая из реактивного двигателя, они сообщают большие скорости реактивным самолетам. Когда взрывается порох, то газы, образующиеся при этом, придают огромные скорости снарядам орудий.

Чтобы строить хорошие турбины, паровозы, тракторы, самолеты, необходимо знание свойств газов. Понять и объяснить их особенности позволяет движение молекул. Знание законов движения молекул дает возможность предвидеть поведение газов в различных условиях.

Разберемся в этом.

Если уменьшать объем, занимаемый каким-либо газом, он оказывает этому сопротивление. Совершенно отчетливо противодействие сжатию можно ощущать при накачивании воздухом велосипедной шины или футбольного мяча.

Сопротивление газа уменьшению объема называют упругостью. Это одно из основных свойств всех газов.

Как объяснить упругость, в чем ее причина?

Попробуем ответить на этот вопрос, пользуясь знаниями о строении газов. Представим себе такой опыт. У обычных весов, на которых взвешивают хлеб, одна чашка плоская, а другая в виде тарелки. Выставим весы на дождь и над вогнутой чашкой устроим навес так, чтобы вода на нее не попадала (рис. 22). Дождевые капли будут ударяться об открытую плоскую чашку весов и стекать с нее. Удары отдельных капель, складываясь, заставят чашку весов опуститься. Чтобы привести весы в равновесие, надо положить на вторую чашку гири. Уравновесив весы и подсчитав, сколько для этого понадобилось граммов, мы определим силу, с которой давит дождь.

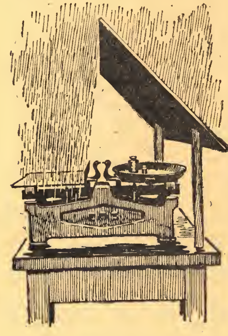


Рис. 22. Дождь давит на открытую чашку весов с силой, которую можно измерить.

Заменим плоскую чашку чашкой того же веса, но больших размеров. Теперь для уравновешивания весов понадобится и больше гирь. Следовательно, один и тот же дождь давит на большую чашку весов с большей силой. Поэтому если мы хотим указанным способом охарактеризовать силу, с которой давят падающие капли дождя, то необходимо условиться, каких размеров следует брать плоскую чашку. Проще всего принять ее равной одному квадратному сантиметру.

Если для поддержания весов в равновесии в описанном опыте пришлось положить на закрытую чашку 400 граммов, а поверхность открытой чашки была $20 \times 20 = 400$ квадратных сантиметров, то, значит, дождь давил на чашку с силой, равной 400 г : 400 см^2, то есть с силой в один грамм на каждый квадратный сантиметр поверхности чашки.

Силу, отнесенную к единице поверхности, называют давлением, и можно сказать, что давление дождя в описанном опыте равнялось одному грамму на квадратный сантиметр поверхности.

Давление, при котором на каждый квадратный сантиметр действует сила в один килограмм, называется давлением в одну атмосферу.

Какое же отношение имеет сказанное к свойствам газов? Самое непосредственное!

Мы знаем, что молекулы газов беспорядочно движутся со скоростями, близкими к скорости полета пули. При движении они сталкиваются со своими соседками и ударяются о стенки сосуда, в котором заключен газ. Каждый квадратный сантиметр внутренней поверхности бутылки, заполненной обычным, не сжатым воздухом, испытывает в одну секунду такое число ударов молекул, которое записывается цифрой с 22 нулями. Это очень большое число. Если бы столько просяных зерен положить рядышком одно к другому, то можно было бы сто раз протянуть эту дорожку из зернышек до одной из ближайших звезд и обратно.

Таким образом, на стенки бутылки непрерывно падает чрезвычайно частый дождь мельчайших «капелек» вещества — молекул. Частицы газа как бы бомбардируют стенки сосуда. Правда, удары отдельных молекул так слабы, что не отмечаются ни приборами, ни нашими органами чувств. Но они так часто следуют друг за другом, что, сливаясь вместе, производят давление, которое уже нетрудно измерить приборами или ощутить непосредственно.

Такова причина упругости газов, указанная Ломоносовым.

«...Мы считаем излишним, — писал Ломоносов, — призывать на помощь для отыскания причины упругости воздуха ту своеобразную блуждающую жидкость, которую очень многие — по обычаю века, изобилующего тонкими материями, — применяют обыкновенно для объяснения природных явлений. Мы довольствуемся тонкостью и подвижностью самого воздуха и ищем причину упругости в самой материи его».

Во многих отраслях промышленности очень важно возможно точнее измерять давление газа. Для этой цели используются приборы, называемые манометрами. Их устройство весьма разнообразно. В технике наибольшее распространение имеют металлические манометры. Главной частью этого прибора является упругая трубка, согнутая в виде спирали (рис. 23). К закрытому концу ее прикрепляется стрелка, двигающаяся вдоль шкалы, а открытый — соединяется с сосудом, в котором измеряется давление. При повышении давления часть газа проходит внутрь спиральной трубки и заставляет ее несколько разогнуться. Стрелка прибора, дви-



Рис. 23. Устройство манометра.

гаясь при этом вдоль специальной шкалы, указывает величину давления.

Что определяет давление газа?

Чем больше молекул ударится в единицу времени о какую-либо поверхность, тем, очевидно, большее давление будет она испытывать. Кроме того, давление зависит от скорости движения молекул газа. Если молекулы движутся быстрее, то они сильнее ударяются о поверхность и производят большее давление.

Уменьшив объем, занимаемый газом, в два раза, мы тем самым в два раза увеличим число молекул в каждом кубическом сантиметре, а значит, в два раза увеличим и число ударов о стенки сосуда в каждую секунду.

Если сжимать газ при постоянной температуре, то скорость молекул не изменяется: они ударяют о стенки с прежней силой, только чаще. Так, в нашем примере после уменьшения объема газа в два раза молекулы будут ударять о стенки в два раза чаще, и, значит, во столько же раз возрастет давление газа. Следовательно, взяв любое количество газа и умножив занимаемый им объем на производимое давление, мы получим величину, остающуюся постоянной при сжатии или расширении газа, если, конечно, его температура при этом не изменяется (рис. 24). Этот важный закон был открыт на заре возникновения современной науки английским физиком Бойлем, а немного позднее — французом Мариоттом.

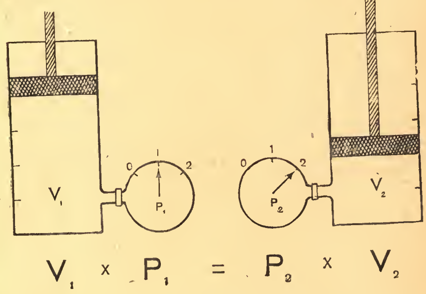


Рис. 24. Закон Бойля и Мариотта.

С тех пор прошло около трех столетий. Неизмеримо возросла за это время точность определения различных физических величин. В своей практической деятельности человек использует теперь давления во много раз большие, чем 300 лет назад. Естественно, возникает вопрос: насколько строго выполняется простое соотношение, открытое Бойлем, если измерения производить очень точно и изменять давление газа в широких пределах?

Как показывает опыт, пока давления газа не очень велики, закон Бойля выполняется хорошо. Однако при высоких давлениях газообразные тела ведут себя иначе, чем думал Бойль.

На неизбежность нарушения закона Бойля указывал еще Ломоносов. Действительно, при уменьшении объема, занимаемого газом, уменьшаются лишь промежутки между его молекулами. Именно поэтому он сравнительно легко сжимается. Однако если газ сжать очень сильно, то свободное от молекул пространство составит лишь небольшую часть всего объема. Остальное будет приходиться на долю самих молекул. При этих условиях газ значительно сильнее сопротивляется дальнейшему сжатию, чем когда он был разреженным. «При очень большом сжатии воздуха, — писал Ломоносов, — отношение упругости воздуха должно отличаться от отношения плотностей».

Закон Бойля справедлив только при постоянной температуре. Но не будет ли само сжатие или расширение газа вызывать изменения его температуры? И если это действительно происходит, то как изменение температуры скажется на давлении газа?

Повседневный опыт учит, что при сжатии газа часто наблюдается нагревание. Так, накачивая велосипедную шину, вы ощущаете, как нагревается насос. Многие скажут, что он нагревается от трения поршня о стенки насоса. Это не совсем верно. Качайте этим же насосом воздух не в шину, а просто в атмосферу. Если насос при этом и нагреется, то слабее, чем в первый раз.

Почему же при быстром сжатии газ нагревается?

Рассмотрим внимательнее, как происходит сжатие. Поршень в цилиндре насоса, сжимающего газ, движется навстречу ударяющимся в него молекулам и как бы толкает их. Поэтому, отскакивая после удара, молекулы обладают большей скоростью, чем до столкновения с поршнем. В результате средняя скорость движения частиц увеличивается, температура газа возрастает. Этот процесс частично уравновешивается рассеянием теплоты через стенки цилиндра в окружающее пространство. Чем медленнее происходит сжатие, тем больше теплоты успевает уйти и тем меньше повышение температуры. При быстром сжатии теплота не успевает уходить, и вещество нагревается сильнее. Таким способом можно нагреть газ до очень высокой температуры. Вы, наверное, знаете, что современ-

ные виды транспорта, такие, как автомобили и самолеты, приводятся в движение двигателями внутреннего сгорания. В этих машинах в цилиндр, в котором движется поршень, засасывается смесь горючего вещества с воздухом, сжимается, а затем зажигается. При горении выделяется большое количество теплоты, температура газа в цилиндре сильно повышается и одновременно повышается его давление. Поскольку молекулы газа теперь движутся быстрее, они чаще и интенсивнее ударяют о стенки.

В результате возрастания давления поршень двигателя, сжимавший до зажигания горючую смесь, начинает двигаться в противоположную сторону, совершая работу.

В обычных двигателях внутреннего сгорания для зажигания смеси используется электрическая искра, проскакивающая между электродами специальной свечи.

На мощных тракторах и тепловозах устанавливаются двигатели внутреннего сгорания, называемые двигателями Дизеля. Кто знаком с работой дизельного мотора, тот знает, что в цилиндрах этой машины нет никаких свечей или каких-либо других средств зажигания. Поршень, сжимая воздух в цилиндре, сообщает его молекулам такую скорость, что он разогревается до очень высокой температуры. Затем туда впрыскивается горючее, которое загорается и приводит в действие двигатель.

Молекулярная теория позволяет объяснить и возникновение веса газа. Интересно напомнить, что было время, когда люди вообще не знали о тяжести газообразных тел. Аристотель, например, как мы уже говорили, считал, что, стремясь к присущему им от природы уровню, газы всегда самопроизвольно поднимаются вверх. Развитие науки опровергло это ложное представление. Но как же все-таки объяснить, что газ, молекулы которого движутся беспорядочно во всех направлениях и одинаково часто ударяются о все стенки сосуда, обладает весом?

Не должна ли бы в этих условиях сила, действующая на все стенки сосуда, быть одинаковой, а газ невесомым?

Нет. Так было бы лишь в том случае, если бы не существовало Земли, притягивающей к себе все тела, в том числе и молекулы газа. Земное притяжение заставляет молекулы газа, летящие ко дну сосуда, двигаться с увеличивающейся скоростью, подобно падающему на землю камню. Когда же молекула движется вверх, то скорость ее уменьшается так же, как скорость камня, брошенного вверх.

Таким образом, в результате действия силы земного тяготения удары молекул газа о дно сосуда оказываются более интенсивными, чем о крышку. Так возникает избыточная сила, действующая по направлению к земле и равная весу вещества. Газы обладают тяжестью так же, как жидкие или твердые тела. Этого надо было ожидать, поскольку основные свойства молекул ве-

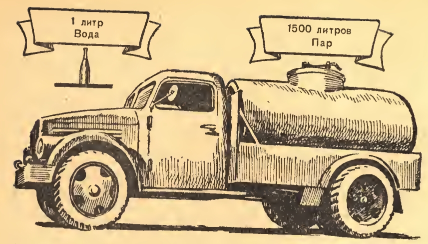


Рис. 25. Если литр воды обратить в пар, то при температуре кипения воды и атмосферном давлении этот пар займет цистерну объемом в 1 500 литров.

щества не изменяются оттого, жидкое оно или газообразное. На первый взгляд различие в этом случае сводится лишь к тому, что в жидком состоянии вещество занимает меньше места, чем в парообразном. Объем воды, например, увеличивается при испарении приблизительно в полторы тысячи раз. А что же будет, если, увеличивая давление, сблизить молекулы газа до таких расстояний, на которых находятся друг от друга молекулы жидкостей? Не превратится ли газ в жидкость?

Жидкие газы

Этот вопрос давно привлекал внимание ученых. Более ста лет тому назад, в 1823 году, им занялся тогда молодой английский физик М. Фарадей. Он производил много опытов, настойчиво добиваясь ответа на интересовавший его вопрос.

Однажды, когда Фарадей ставил очередной опыт, пытаясь превратить в жидкость удушающий газ хлор, в лабораторию вошел его руководитель вместе с одним из своих приятелей. Последний, заметив на стенках прибора маслянистую жидкость и думая, что прибор загрязнен каким-то маслом по небрежности Фарадея, сделал ученому замечание. На следующее утро почтальон принес ему письмо молодого физика. Письмо было кратким: «Масло, замеченное вами вчера, было не чем иным, как жидким хлором».

Что же происходит при сжатии газа? Почему он превращается в жидкость?

До сих пор при изучении атомов и молекул мы умалчивали об одном важном их свойстве. Частицы любого вещества притягиваются друг к другу особыми силами — силами молекулярного сцепле-

ния, подобно тому как все тела притягиваются к земле силой тяготения. Пока расстояния между молекулами велики, силы молекулярного сцепления малы. Но они быстро растут по мере того, как это расстояние уменьшается. Таким образом, при сжатии газа силы сцепления молекул друг с другом возрастают. Этих сил оказывается достаточно, чтобы при комнатной температуре, когда молекулы еще сравнительно быстро движутся, превратить в жидкость многие газы.

Так были получены жидкий хлор, аммиак, углекислота...

Однако не все газы удается так легко превратить в жидкость. Некоторые из них при обычной температуре не сжижаются, какое бы высокое давление на них ни производили. К таким газам относятся кислород, азот, водород... Для них было придумано даже специальное название: «постоянные» газы. Оно должно было подчеркнуть невозможность превращения их в жидкость.

Правильный ответ на вопрос о причине загадочного «постоянства» кислорода, азота и других несжижавшихся газов дал великий русский ученый Дмитрий Иванович Менделеев. Он рассуждал так: когда сжимается какой-нибудь газ, силы молекулярного сцепления помогают сжатию, стараются еще сильнее сблизить молекулы друг с другом. Этому сближению, однако, противится тепловое движение, которое заставляет молекулы рассеиваться во все стороны, вызывает в газе стремление расшириться и занять возможно больший объем.

Если силы сцепления велики, они могут преодолеть стремление газа к расширению, удержать частицы друг около друга и таким образом создать некоторый порядок в их расположении, характерный для жидкости.

Когда же молекулы притягиваются друг к другу не очень сильно, тепловое движение не позволит газу превратиться в жидкость, силы сцепления не смогут преодолеть стремления частиц улететь друг от друга возможно дальше. В этом и заключается причина «постоянства» таких газов, как кислород, азот или водород. Встречаем ли мы здесь непреодолимое препятствие, поставленное природой на пути превращения вещества из одного состояния в другое? Отнюдь нет!

Чтобы превратить в жидкость «постоянные» газы, необходимо их лишь сильно охладить. При понижении температуры скорость молекул замедляется, стремление их рассеяться в разные стороны уменьшается и силы сцепления оказывается достаточно для сжижения газа.

Д. И. Менделеев указал, что для каждого газа существует определенная температура, выше которой его никаким давлением нельзя превратить в жидкость. При более высокой температуре жидкость существовать не может. Менделеев назвал эту температуру «температурой абсолютного кипения».

В наше время ее называют *«критической температурой»* вещества.

Критические температуры различных веществ сильно отличаются друг от друга. Так, водяной пар нельзя превратить в воду, если он нагрет выше 374 градусов. Кислород же нельзя превратить в жидкость, если он не охлажден до 119 градусов ниже нуля.

Теперь понятно, почему так долго не могли превратить «постоянные» газы в жидкости, повышая их давление. Эти попытки делались при температурах выше критических. Когда одновременно со сжатием начали применять глубокое охлаждение до температур ниже критической, то все известные газы были сжижены и само название «постоянные» потеряло смысл.

Если газ достаточно охлажден, то нет необходимости применять для его сжижения особенно большое давление. Так, при критических температурах водород становится жидким уже при давлении в 12,8 атмосферы, кислород — при 50,8 атмосферы.

Чем сильнее охлажден газ, тем меньшее давление требуется для его сжижения. Вспомните, как легко превращается пар в воду на холодных предметах, внесенных в комнату, или на стеклах окна в зимнее время. Незначительное понижение температуры воздуха летней ночью вызывает появление росы.

Сжижение газа является ярким доказательством наличия сил молекулярного сцепления.

Большой победой человеческого разума было промышленное производство жидких газов.

Из лаборатории на завод

Основная трудность задачи состояла в достижении очень низких температур, необходимых для превращения газов в жидкость. Обычный лед имеет температуру ноль градусов. Если его смешать с поваренной солью, температура опустится до минус 21 градуса. Более низкую температуру удается получить, воспользовавшись «сухим» льдом, который применяют для охлаждения мороженого. Сухой лед — это твердая углекислота. Если его смешать со спиртом, то температура смеси будет уже минус 72 градуса. Но ведь для превращения газов в жидкости необходимы температуры минус 150 градусов и еще ниже! Как же получить такие низкие температуры?

Оказывается, для этого можно использовать те самые силы притяжения молекул, которые вызывают превращение газа в жидкость.

Представьте себе, что мы первоначально сожмем газ, а затем предоставим ему возможность расшириться. Частицы сжатого газа расположены близко одна к другой, и каждая из них интенсивно притягивает своих соседей. При расширении они разлетаются в разные стороны, преодолевая силы притяжения. При этом им, очевидно, приходится совершать работу, которая, в свою очередь, требует затраты энер-

гии, единственный источник которой — энергия движения молекул газа. Израсходовав часть ее, молекулы будут двигаться медленнее. Но мы знаем, что уменьшение скорости движения молекул газа означает понижение его температуры, и поэтому приходим к выводу, что расширяющийся газ должен охлаждаться. Опыт подтверждает это заключение. Правда, наблюдаемое охлаждение невелико, и может показаться странным, как это небольшое охлаждение используется для достижения очень низких температур.

На помощь приходит смелая человеческая мысль.

На рисунке 26 изображена схема машины для получения



Рис. 26. Машина для получения жидких газов.

жидких газов. Работает установка так.

Первоначально газ сжимается специальной машиной до 220 атмосфер; охладившись в обычных холодильниках, он поступает затем по внутренней трубе к так называемому дросселирующему вентилю. Пройдя через него, газ расширяется, давление его падает до 20 атмосфер, и одновременно понижается температура.

Расширившийся и охладившийся газ движется в обратном направлении по трубе, охватывающей ту, по которой он шел к вентилю. Благодаря такой конструкции идущий по внутренней трубе сжатый газ отдает теплоту газу, текущему по наружной трубе, и сам охлаждается еще до того, как расширится. После расширения его температура еще более понижается. Легко сообразить, что при таком устройстве машины температура газа будет непрерывно понижаться до тех пор, пока не сделается столь низкой, что вещество начнет превращаться в жидкость и капельками падать в приемник.

Процесс охлаждения газа можно значительно ускорить, если заставить его не только преодолевать действие междумолекулярных сил, но и совершать какую-либо внешнюю работу, например приводить в движение генератор электрической энергии. Такая машина называется детандером. Замечательный турбодетандер был построен советским ученым академиком П. Л. Капицей.

В машине Капицы воздух сжимается всего до 4—5 ат-

мосфер, но, вращая при расширении быстроходную турбину и производя работу, он настолько интенсивно охлаждается, что частично превращается в жидкость. Турбодетандер отличается от других машин для сжижения газов очень небольшими размерами.

Необычный продукт

Сжижение газов имеет огромное практическое значение. Превратив газообразный воздух в жидкий, можно разделить его на азот и кислород. Это удается сделать благодаря тому, что из жидкого воздуха азот испаряется быстрее, чем кислород. Процесс разделения происходит в специальном аппарате — ректификационной колонне.

Нижняя часть аппарата — это бак, заполненный сжиженным газом, в основном кислородом, имеющим очень низкую температуру (рис. 27). В баке располагается змеевик — холодильник. Насос сжимает и накачивает в холодильник воздух, который настолько охлаждается, что превращается в жидкость, нагнетаемую по трубе в верхнюю часть колонны.

Поднявшись наверх, жидкий воздух выливается на установленные внутри колонны «тарелки» и струйками падает вниз, перетекая с одной тарелки на другую. Во время падения жидкость омывается идущим навстречу ей газом и на каждой тарелке как бы вновь закипает. При этом в первую очередь из нее удаляется азот, а остаток обогащается кислородом. На нижних тарелках жидкость содержит гораздо больше кислорода, чем на верхних.

Комбинируя работу двух подобных колонн, можно получить почти чистый жидкий кислород. Этот метод в настоящее время является наиболее распространенным в промышленности.

В технике кислород производится и потребляется в огромных количествах. Уже перед Великой Отечественной войной Советский Союз занимал первое место в Европе по производству жидкого кислорода. В послевоенное время производство его возросло в несколько раз.

Широко и разнообразно применение кислорода. Особенно большую помощь оказывает он металлургии, участвуя в получении чугуна и стали.

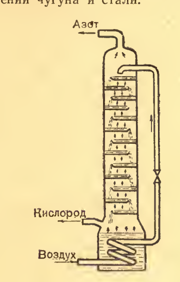


Рис. 27. Ректификационная колонна.

В домнах при выплавке чугуна кислороду принадлежит активная роль. Однако подается в печи обычно воздух, в котором, как известно, много азота. Азот же в данном случае — ненужный балласт. Поэтому не приходится удивляться, что даже небольшое увеличение содержания кислорода в дутье значительно повышает производительность доменной печи.

Еще более велико значение кислорода в производстве стали. Продувая расплавленный металл кислородом или обогащенным им воздухом, удается не только значительно ускорить процесс сталеварения и снизить стоимость получаемого материала, но и значительно улучшить его свойства.

Особенно ценным оказалось использование обогащенного дутья при производстве специальных, так называемых легированных сталей. В литейном производстве этим способом удается получить металл с ценными качествами, оказывающий большое сопротивление изгибу и удару.

Пользуясь кислородом, можно резать толстые стальные слитки. Сейчас в промышленности широко практикуется превращение твердого топлива, например сланцев, в горючий газ. Этот процесс называют газификацией, и осуществляется он в специальных установках — газогенераторах. Используя при газификации топлива кислород, получают газ, состоящий в основном из водорода и окиси углерода. Этот газ ценен не только как топливо, выделяющее при сгорании большое количество тепла, но и как сырье для получения важных химических продуктов: бензина, метилового спирта, аммиака...

Большой потребитель кислорода — химическая промышленность. Применение его позволяет ускорять (интенсифицировать) многие важные химические процессы: производство азотной и серной кислот, получение метилового спирта и некоторые другие.

В меньших количествах кислород находит себе применение и в других отраслях промышленности.

Как видим, атомное учение позволяет понять различные свойства газов, объяснить многие явления, знакомые нам из повседневной жизни. Это же атомное учение дает возможность понять, почему и как при определенных условиях газы превращаются в жидкое состояние.

Жидкости, в основном вода, играют огромную роль в жизни природы, в промышленности и технике, в сельском хозяйстве. Объяснение их свойств — одна из главнейших задач науки о строении вещества. Нельзя ли и при решении этой задачи воспользоваться изучением свойств и поведения молекул?

Развитие человеческих знаний показало, что здесь мы встречаемся с более сложной задачей, чем в случае газов.

Эта область атомного учения — одна из увлекательных страниц современной науки.



НА ПУТИ К ПОРЯДКУ

Колыбель жизни

В далекие времена, когда на земле не было еще ни растений, ни животных, ее поверхность почти сплошь покрывали первичные моря и океаны. Именно в их теплых водах происходило образование сложных органических веществ, приведших к возникновению жизни на земле.

Видя на каждом шагу, какую огромную роль играет вода в жизни природы и человека, древние народы обожествляли ее.

Все моря и земли обтекает, читаем мы в греческих мифах, равный по величию самому Зевесу бог — седой Океан.

Обоготворяли воду и наши предки славяне, приписывавшие ей силу плодородия, способность наделять человека богатырской мощью, оживлять умерших...

Эти верования не ограничивались только сказками и легендами. В старинных летописях можно прочесть о том, как населявшие некогда нашу страну народы «жертвы богомерзкие богам своим приносили — озерам и кладезям».

Значение воды действительно огромно. Она обеспечивает плодородие почвы: участвует в самом процессе ее образования, несет питательные вещества растениям, делает возможным протекание сложных физико-химических и микробиологических процессов, с которыми связана жизнь растений.

Всем известно, каким бедствием для сельского хозяйства может явиться засуха.

В наше время водою покрыто более семи десятых поверхности земли, что составляет около 361 миллиона квадратных километров. Если бы всю воду морей и океанов равномерно распределить по поверхности земли, то она покрыла бы ее слоем почти в четыре километра толщиною.

Ежегодно с поверхности морей и суши испаряется приблизительно 511 тысяч кубических километров воды! Попав в более высокие части атмосферы, эта огромная масса водяных паров вновь превращается в воду и падает на землю в виде дождя, снега или града.

В вечном круговороте вода изменяет облик земли. Спускающиеся с гор ледники пропахивают в склонах глубокие

долины и несут в океан огромные камни, куски скал...

Речные потоки ежегодно уносят в моря и океаны около 16 миллиардов тонн твердых пород в виде камней и различных обломков или же в виде растворенных веществ. Попробуйте погрузить все это в товарные вагоны, и вы получите поезд, который тридцать раз опояшет земной экватор.

Унесенные реками куски твердых минералов, песок, глина оседают на дно и дают начало образованию новых горных пород.

Не будет преувеличением, если мы скажем, что вода — главный природный фактор, определяющий геологические процессы, протекающие на земле.

И человеческий организм и организм животного больше чем наполовину состоят из воды. Это может показаться неожиданным, но это так. Если животное потеряет всего от одной до двух десятых частей той воды, которая содержится в его организме, оно погибнет. Человек может прожить больше месяца без пищи, но умирает через несколько дней без воды.

Огромна роль воды в технике. Это она, превращенная в пар, заставляет работать паровые машины, турбины электростанций; это она в виде быстрой струи помогает извлекать торф, намывает плотины; это она — необходимый спутник самых разнообразных химических процессов.

Большую роль играют жидкости в различных технологических процессах. В химической промышленности в подавляющем большинстве случаев приходится иметь дело с жидкостями. Различные сорта нефти, бензины, масла, спирты, кислоты и многие другие вещества, с которыми встречается в своей практике технолог, — жидкости.

Еще алхимики, как бы подводя итог своим бесчисленным опытам, утверждали, что «тела не действуют, если они не растворены».

Каково же строение жидкостей, чем их свойства отличаются от свойств газов и как объяснить особенности жидкостей, опираясь на учение об атомах?

Двуликий Янус

На старинных римских монетах можно встретить странное изображение — человеческую голову с двумя смотрящими в противоположные стороны лицами. Это языческий бог двуликий Янус. Если один лик Януса обращен направо, то второй смотрит налево.

По своим свойствам жидкости напоминают это забытое божество. Если одни свойства их сходны со свойствами газов, то другие — со свойствами твердых тел.

Промежуточное положение, которое занимают жидкости между газами и твердыми телами, сильно затрудняет объяснение особенностей их атомного строения.

Те свойства, которые общи жидкостям и газам, скорее бросаются в глаза человеку, нежели те, которые указывают на

родство жидкостей и твердых тел.

Особенно большое впечатление производит общая газам и жидкостям подвижность их частиц относительно друг друга.

Махните рукой. Вы почти не ощущаете сопротивления воздуха.

Проведите рукой в воде. Сопротивление более ощутимо, но все же рука свободно движется, увлекая за собой частицы воды. В этом отношении вода напоминает очень плотный газ и вовсе не похожа на твердое тело.

Кроме того, у жидкости, как и у газа, свойства одинаковы в любом направлении. Так, при нагревании жидкость расширяется во все стороны одинаково. Иначе ведет себя кристаллическое твердое тело: при повышении температуры размеры кристалла изменяются неодинаково в различных направлениях. Существуют даже кристаллы, которые при нагревании увеличиваются в одном направлении и уменьшаются в другом.

И, наконец, как мы уже знаем, постепенно сжимая газ, его можно превратить в жидкость плавно, без скачкообразного изменения свойств вещества.

Все это, казалось бы, говорит о том, что жидкость можно считать очень сильно сжатым газом.

Не будем, однако, торопиться с выводами и продолжим сравнение свойств жидкостей, газов и твердых тел.

Каждый, кто увлекался футболом, знает, что перед началом игры обычно проверяют, хорошо ли накачан мяч. Если он мягкий, насосом дополнительно нагнетают воздух. Это можно сделать только потому, что воздух, как и другие газы, легко сжимается.

Совсем иначе ведут себя жидкости: они практически несжимаемы и в этом отношении гораздо больше походят на твердые тела, чем на газы.

Однажды был произведен такой опыт: в стальной сосуд налили ртуть и стали ее очень сильно сжимать. На поверхности сосуда появились мельчайшие капельки ртути, которая просочилась через толщу металла. Вот как велико было сопротивление ртути сжатию!

Сходно ведут себя и другие жидкости. Чтобы, сжимая, уменьшить объем воды всего на 4 процента, ее надо подвергнуть давлению приблизительно в 1 000 атмосфер.

Именно поэтому водой пользуются при испытании прочности водопроводных труб, артиллерийских снарядов, баллонов для сжатых газов и т. п. Испытуемый снаряд или баллон наполняют водой и, увеличивая давление, следят за тем, не образуется ли трещина, не появится ли на поверхности вода...

Если сравнивать различные тела по их сжимаемости, то жидкости надо было бы отнести в одну группу с твердыми телами, а не с газами.

К тому же заключению (о сходстве твердых и жидких тел) приводит сравнение их плотности.

Различные вещества в газообразном состоянии обычно

в тысячи раз менее плотны, чем в жидком. Другими словами, при испарении объем, занимаемый веществом, увеличивается во много раз.

Иная картина наблюдается при плавлении, то есть при превращении твердого тела в жидкость. Объем при этом увеличивается незначительно, всего приблизительно на одну десятую часть по сравнению с твердым телом.

Рис. 28. Для того чтобы сжать воду в стакане только на 4 процента, на нее нужно давить с силой в несколько десятков тонн.

В некоторых случаях, правда немногочисленных, при плавлении объем, занимаемый телом, даже уменьшается, так что плотность жидкости оказывается большей, чем плотность твердого тела. К таким веществам относятся вода, чугун, висмут...

Раз объем тел при плавлении изменяется незначительно, почти не изменяются и расстояния между молекулами, а следовательно, и силы, действующие между ними.

Можно предположить поэтому, что характер движения мельчайших частиц вещества в жидкостях напоминает движение частиц в твердых телах, а не в газах. Эту мысль нетрудно проверить. От движения частиц зависит теплоемкость вещества. Сравнение теплоемкостей жидких и твердых тел убеждает в том, что они действительно близки друг к другу, то есть движение молекул жидкости напоминает движение частиц твердых тел.

Мы видим, что поступили правильно, не сделав поспешного вывода о родстве жидкостей и газов.

Если подвижность частиц и одинаковость свойств тел во всех направлениях роднят жидкости с газами, то плотность, теплоемкость и малая сжимаемость их указывают на сходство жидкостей и твердых тел.

Заметим, что если жидкость заставить быстро изменять форму, то она приобретает еще одну черту, роднящую ее с твердыми телами, а именно делается хрупкой.

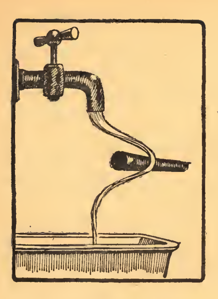


Рис. 29. При медленном движении палочки струя вязкой жидкости изгибается.

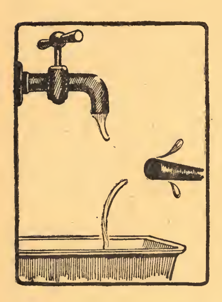


Рис. 30. При быстром ударе струя разламывается, как хрупкое тело.

Мы привыкли к тому, что способностью разламываться обладают только твердые тела. Оказывается, это неверно: при очень быстром ударе жидкость разламывается, как стекло.

На рисунке 29 вы видите струю очень вязкой жидкости, которую пересекает медленно движущаяся палочка. Видно, как под давлением палочки струя изогнулась, в следующее мгновение она разорвется — палочка ее пересечет. Не то будет, если мы палкой ударим по струе достаточно быстро. В этом случае (рис. 30) струя разломается. На рисунке хорошо видны «осколки» жидкости, отброшенные при ударе.

Итак, мы убедились в том, что привычная нам текучесть жидкостей не является свойством, при всех обстоятельствах отличающим их от твердых тел. При определенных условиях жидкость может быть хрупкой.

Чему же отдать предпочтение? Если на одну чашку весов положить свойства, роднящие жидкости с твердыми телами, а на другую — с газами, какая из чашек перетянет?

Оказывается, ответить на этот вопрос нельзя, и вот почему. Свойства жидкости сильно изменяются при изменении температуры. При температуре, близкой к той, при которой жидкость затвердевает, свойства ее ближе к свойствам твердого тела. При нагревании она все более походит на газ, а поведение мельчайших частиц, образующих ее, приближается к поведению молекул газа.

Кочующие маятнички

Каково же молекулярное строение жидкости?

Частицы газа или пара движутся по причудливо изломанным линиям. Отдельные участки этих линий много больше размеров самих молекул.

Иное положение в жидкости.

Молекулы ее располагаются очень близко друг к другу. Поэтому их движение напоминает скорее дрожание, при котором они только незначительно смещаются, постоянно возвращаемые назад ударами своих соседей. Сравнительно редко какой-нибудь молекуле удается вырваться из тесного окружения своих соседей. Большую же часть времени она движется как бы в клетке, стенками которой оказываются ближайшие к ней частицы. Движение молекулы в этой ячейке напоминает движение маятника стенных часов-ходиков, оно называется колебательным.

Имеется, однако, существенное отличие движения маятника часов от колебаний молекул жидкости. При колебании маятника подвес его остается неподвижным и только диск отклоняется попеременно то вправо, то влево.

В отличие от этого молекулы жидкости время от времени изменяют и тот «подвес», относительно которого они колеблются. Это равносильно тому, как если бы в часах двигался не только диск маятника, но и шарнир, на котором он висит, «кочевал» бы непрерывно с места на место. Пока молекула остается внутри какой-либо ячейки, она ведет «оседлый» образ жизни и за это время успевает совершить большое число колебаний. В период же перемещения в соседнюю ячейку она изменяет положение «подвеса», относительно которого колебалась.

Если температура жидкости будет увеличиваться, молекулы станут все чаще и чаще кочевать из одной ячейки в другую. Тем самым время их «оседлой» жизни уменьшится и характер движения будет все более напоминать движение молекул газа.

Почему же поверхность спокойной жидкости представляется нам неподвижной и мы не замечаем непрерывного дрожания молекул?

Еще Ломоносов в одном из своих сочинений писал: «Ведь нельзя отрицать существование движения там, где его не видно: кто, в самом деле, будет отрицать, что когда через лес проносится сильный ветер, то листья и сучки дерев колышутся, хотя бы при рассматривании издали глаз не видел движения? Точно так же, как здесь вследствие расстояния, так и в теплых телах вследствие малости частиц движущейся материи колебание ускользает от взора».

И в самом деле. Посмотрите на лезвие безопасной бритвы. Каким ровным и гладким оно нам представляется! А теперь взгляните на рисунок 31. На нем изображен маленький участок того же лезвия, каким он видится в электронный микроскоп. А ведь обычные по своим размерам молекулы и в элек-

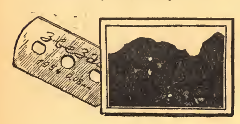
троинный микроскоп не видны. Неудивительно, что движение молекул не так просто обнаружить.

Тепловое движение частиц можно наблюдать, воспользовавшись красивым опытом, осуществить который несложно.

Налейте в стакан чистой воды и добавьте к ней каплю так называемой свинцовой примочки. (Свинцовая примочка — это водный раствор соединения свинца, называемого уксуснокислым свинцом. Раствор обладает способностью поглощать из воздуха углекислый газ, в результате чего возникают нерастворимые в воде кристаллики углекислого свинца. Свинцовую примочку можно приобрести в любой аптеке.)

Поместите стакан в темную комнату и осветите его сбоку узким лучом света. Рассматривая жидкость в стакане через небольшую лупу с четырех- или шестикратным увеличением, можно наблюдать, как в жидкости непрерывно вспыхивают и гаснут мельчайшие яркие звездочки. Эти звездочки не что иное, как крошечные световые зайчики, отбрасываемые отдельными гранями микроскопических кристаллов углекислого свинца, попавших в воду вместе с каплей свинцовой примочки. Звездочка вспыхивает, когда кристаллик поворачивается так, что зайчик оказывается направленным к нам в глаз, и гаснет, когда положение его изменяется и зайчик невидим. Поворачиваются же кристаллики потому, что удары молекул об их микроскопические грани не уравновешиваются. Находясь под непрерывным обстрелом, кристаллик как бы дрожит, отбрасывая зайчики в разные направления. Можно сказать, что в этом опыте наблюдается то самое броуновское движение, о котором была уже речь выше.

Рис. 31. Так выглядит маленький участок лезвия безопасной бритвы под электронным микроскопом.



Еще более эффектно наблюдается это явление в другом несложном опыте. Из фанеры или толстого картона делается закрывающаяся сверху коробка, размеры которой указаны на рисунке 32. Примерно в середине передней стенки коробки вырезается круглое отверстие диаметром 3—4 сантиметра, а на левой стенке, на той же высоте, другое — диаметром около 2 сантиметров. С внутренней стороны стенки коробки закрашиваются в черный цвет или оклеиваются черной бумагой. В переднем отверстии укрепляется линза с 4—6-кратным увеличением. Внутрь коробки помещают стакан с водой, содержащей каплю свинцовой примочки.

Для освещения используется электрическая лампочка, находящаяся в другой коробочке (рис. 32).

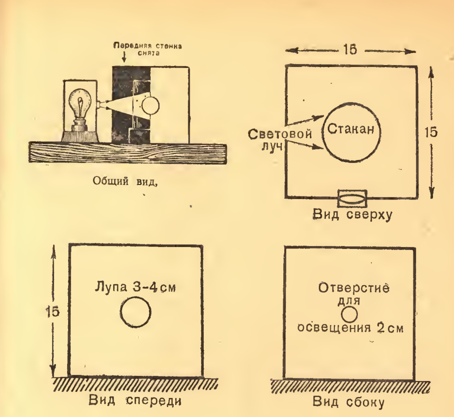


Рис. 32. Прибор для наблюдеиия молекулярного движеиия в жидкости.

Располагая таким прибором, можно демонстрировать броуновское движение в обычной комнате при не очень ярком свете. Луч от осветителя надо направить в боковое отверстие несколько в сторону от наблюдателя, чтобы световые звездочки были видны на темном фоне. Среди вспыхивающих звездочек попадутся и такие, которые светятся без мерцания. Это большие кристаллики, не реагирующие на удары молекул. Они могут медленно передвигаться вместе с имеющимися в жидкости потоками. Но это движение легко отличить от мерцания, вызванного ударами молекул.

Как же быстро перемещаются молекулы жидкости?

Оказывается, средняя скорость теплового движения частиц жидкости такая же, как и у газа, молекулы которого имеют тот же вес, взятого при той же температуре. И так же, как у газов, у жидкостей интенсивность беспорядочного движения молекул растет с ростом температуры.

Таким образом, тепловое движение молекул жидкости, особенно при высокой температуре, похоже на движение

частиц газа. Однако есть и существенное различие. Оно еще более усугубится, если учесть, что полная беспорядочность в расположении молекул, характеризующая газ, сменяется у жидкостей некоторой упорядоченностью. Если отметить каким-либо способом одну из частиц жидкости, то окажется, что ее ближайшая соседка будет всегда находиться в среднем на совершенно определенном расстоянии от нее, и это расстояние одинаково для всех окружающих ее молекул. А это уже элемент порядка!

Примечательно, что упорядоченность в расположении частиц жидкости ограничивается только ближайшим окружением выбранной частицы. Расстояние от отмеченной молекулы до молекул, расположенных за ближайшими соседями, уже не будет так точно определенно.

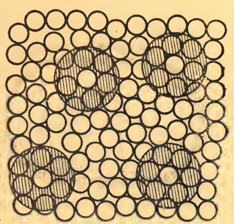
Здесь возможны некоторые отступления: в одном опыте вторая молекула окажется ближе, в другом дальше, чем ей надлежало бы быть. Еще менее определенно место следующей соседки. По мере удаления от исходной молекулы порядок в расположении частиц быстро исчезает. Про жидкость говорят, что в ней существует только ближний порядок в расположении молекул.

Может показаться непонятным, каким образом упорядоченное расположение частиц вблизи любой произвольно выбранной молекулы сочетается с хаотичным распределением их вдали от нее. Ведь переходя от выбранной частицы к соседней, а от той к следующей, можно пройти через всю жидкость. И если всякий раз вблизи молекулы будет наблюдаться упорядоченное расположение ее соседей, то, казалось бы, эта закономерность должна распространяться на всю жидкость.

Но в действительности это не так.

Понять это помогает рисунок 33, на котором показано, как можно представить себе молекулярное строение жидкости. Почти каждый раз, когда мы измеряем расстояние между двумя соседними молекулами, оно оказывается одним и тем же. Однако наблюдающиеся все же незначительные колебания приводят к тому, что если соединить две соседние частицы прямой линией и продолжить ее в обе стороны, то, двигаясь вдоль этого направления,

Рис. 33. В жидкости сохраняется только ближний порядок в расположении молекул.



мы будем встречать более далеких соседей на самых различных расстояниях.

И все же взглянув на рисунок 33, приближенно поясняющий молекулярное строение жидкости, никто не скажет, что расположение частиц в ней полностью беспорядочно.

При изучении свойств жидкости необходимо постоянно держать в уме еще одну важную особенность их молекулярного строения.



Рис. 34. Сфера молекулярного действия.

Неощутимое давление

Так как молекулы жидкости расположены очень близко друг к другу, каждая из них с большой силой притягивается своими соседками. Если молекулы газа можно уподобить рою мошек, в котором любое насекомое движется независимо от своих соседей, то молекулы жидкости следовало бы сравнить с пчелиным роем, севшим на ветку. В висящем рое каждая пчела крепко держится ножками за ближайшую соседку, та, в свою очередь, за свою соседку, и так весь рой оказывается связанным, несмотря на то, что форма его непрерывно изменяется.

Подобным же образом связаны между собой молекулярными силами все частицы жидкости. Но силы притяжения так быстро убывают при увеличении расстояния между молекулами, что, по существу, любая из них связана только со своими ближайшими соседями. Вокруг каждой частицы существует область, внутри которой проявляется молекулярное притяжение (рис. 34). Без особенно большой ошибки можно предположить, что молекулы, лежащие за границей этой области, уже не испытывают притяжения со стороны той, которая расположена в ее центре.

Частицы, находящиеся в толще жидкости, взаимодействуют с соседними с одинаковой силой во всех направлениях. Благодаря этому силы притяжения взаимно уравновешиваются и их присутствие никак не сказывается на поведении молекул.

Иначе будет обстоять дело у частиц, лежащих вблизи поверхности. Для них область, в которой сказывается взаимное притяжение, будет частично заполнена жидкостью, а частично паром (рис. 35). В одинаковых объемах жидкости и пара числа молекул различаются в тысячи раз, поэтому взаимодействие частиц не может уравновешиваться. Сила,

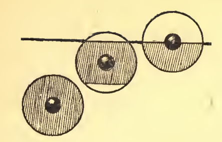


Рис. 35. Молекулы в поверхностном слое жидкости.

действующая со стороны жидкости, гораздо больше той, которая направлена в сторону пара. В результате поверхностный слой жидкости с большой силой притягивается молекулами, лежащими в глубине жидкости. Это равносильно большому добавочному давлению, производимому на поверхность жидкости.

Можно даже подсчитать, какое нужно было бы приложить давление, чтобы удержать молекулы жидкости в занимаемом ими объеме, если бы внезапно они перестали притягивать друг друга. Результат этих расчетов многим покажется удивительным. Взаимное притяжение частиц воды равносильно добавочному давлению около 17 тысяч атмосфер. Для сравнения укажем, что такое давление оказывает столб воды высотою в 170 километров.

Давление, вызванное притяжением частиц, называют молекулярным.

Почему же такие большие давления как будто никак не проявляются? Почему мы можем опустить руку в воду, не опасаясь, что она будет мгновенно раздавлена? Понять это помогает рисунок 36.

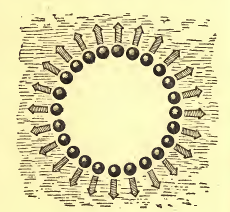
Молекулярное давление всегда направлено от поверхности жидкости в ее глубину и уравновешивается взаимным отталкиванием частиц. Поэтому, какой бы предмет ни погрузить в жидкость, оно не будет на нем сказываться. Чтобы почувствовать присутствие его, надо изменить расстояние между молекулами, например уменьшить объем жидкости — сжать ее.

Теперь ясно, почему так трудно уменьшить объем жидкости: ведь она и в обычном состоянии уже очень сильно сжата взаимным притяжением частиц.

Притяжение молекул можно продемонстрировать еще более убедительно, попытавшись разорвать столб жидкости. В этом сопротивлении разрыву жидкости наглядно проявляются силы сцепления ее частиц.

Посмотрим, как это делается

Рис. 36. Молекулярное давление всегда направлено в глубину жидкости и уравновешивается взаимным отталкиванием частиц.



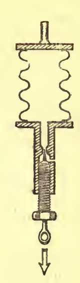


Рис. 37. Прибор для определения сопротивления жидкости разрыву.

с помощью прибора, изображенного на рисунке 37. Основной частью его является особая упругая трубка, называемая сильфоном. Сильфон заполняется жидкостью и закрывается имеющимся внизу игольчатым затвором. Верхний конец прибора закрепляется. Постепенно увеличивая вес гирь на чашке, подвешенной к нижней части прибора, жидкость растягивают до тех пор, пока она не разорвется. Разрыв жидкости легко заметить по характерному щелчку, которым он сопровождается.

Как оказалось, столбик воды, имеющий в поперечнике 5 сантиметров, может выдержать нагрузку в 5 тонн, то есть на таком столбике можно подвесить нагруженный мощный автомобиль «ГАЗ-51» (рис. 38).

Хотя цифры, получаемые при подобных опытах, и очень велики, они все же меньше истинной прочности жидкостей. Причиной тому мельчайшие пузырьки воздуха, всегда присутствующие в жидкостях. Эти пузырьки уменьшают прочность жидкости, подобно трещинкам или пустотам в металлических деталях.

Взаимное притяжение частиц жидкости вызывает не только появление молекулярного давления, им объясняются многие другие свойства жидкости и в первую очередь особенности жидкой поверхности.

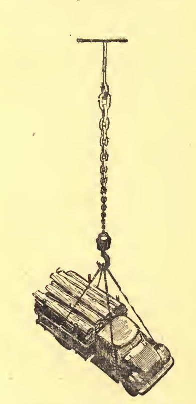


Рис. 38. Столбик воды, имеющий в поперечнике 5 сантиметров, выдерживает нагрузку в 5 тонн.

Невидимая пленка

Молекулы жидкости, лежащие вблизи ее поверхности, притягиваются не только теми, которые расположены ниже их, но и своими соседями справа и слева. Поэтому поверхность жидкости оказывается как бы покрытой тончайшей натянутой пленкой. В существовании этой пленки легко убедиться. Налейте в чайный стакан воды до самого края, а затем осторожно прилейте еще немного. При некоторой сноровке можно добиться, чтобы жидкость выступала над краями стакана (рис. 39).

Что же не дает жидкости перелиться через край? Это делает поверхностная пленка, образованная притягивающимися друг к другу молекулами.

Проделайте такой опыт: возьмите небольшую стеклянную трубочку, засосите в нее воды и, закрыв верхний конец трубочки пальцем, приподнимите ее. Убрав палец, дайте возможность образоваться капле и вновь закройте трубочку. Почему образовавшаяся капля не отрывается? (Рис. 40.)



Рис. 39. Поверхностная пленка не дает воде перелиться через край стакана.



Рис. 40. Висящую каплю удерживает поверхностная пленка.

Некоторые скажут, что капле мешает оторваться атмосферное давление. Но это неверно. Если увеличить размеры капли, она оторвется. Капля удерживается той же поверхностной пленкой, которая не давала воде перелиться через край стакана.

Этот опыт позволяет измерить ту силу, которая действует в поверхностном слое жидкости. Капля оторвется тогда, когда ее вес сравняется с силой, удерживающей ее. Вес капли легко определить: накапав в стакан 10 или 20 капель и взвесив его, найдем вес жидкости, а разделив полученную величину на число капель, вычислим и вес отдельной капли.

Найденная сила распределяется равномерно вдоль линии, по которой капля присоединяется к трубочке, то есть вдоль окружности последней. Поэтому, если мы хотим охарактеризовать силу, действующую в поверхностном слое жидкости, надо еще полученную величину разделить на длину окружности поперечного сечения трубочки.

Так удается определить то, что называют коэффициентом поверхностного натяжения или просто поверхностным натяжением жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей — небольшая величина. Она измеряется числом дин на один сантиметр. (Дина — это единица силы, приблизительно равная весу комара, а точнее — одной девятьсот восьмидесятой части грамма.)

Много интересных опытов можно сделать, изучая молекулярные поверхностные слои жидкости. Для них достаточно иметь черную фотографическую кюветку (или же любую ванночку, на дно которой помещается черная эбонитовая пластина), порошок талька (его можно приобрести в аптеке) и оливковое или подсолнечное масло.

Кюветка тщательно моется, в нее наливается чистая водопроводная вода так, чтобы уровень ее несколько выступал над краями ванночки. Тальк насыпают в какую-либо картонную коробочку, в крышке которой булавкой делают отверстия. С помощью такой своеобразной «перечницы» его равномерно насыпают на поверхность воды, где он хорошо виден на фоне черного дна кюветки.

Если теперь стеклянной палочкой или проволочкой капнуть в центр каплю масла, то оно, распространившись по поверхности воды, оттеснит крупинки талька к краям ванночки. Часть поверхности, занятая маслом, будет хорошо видна, выступая темным пятном на поверхности жидкости. Осторожно подув на свободную от масла поверхность воды, можно заставить крупинки талька двигаться по направлению к масляному пятну и уплотняться на его границе.

Можно показать, что масляный слой сопротивляется уменьшению своих размеров. Расположите на поверхности воды перекладинку из толстой бумаги (см. рис. 41) и перемещайте ею слой масла к одному из краев кюветки. Вы увидите, как при этом сжимаются частички талька, расположенные на границе масляного слоя. Они образуют своеобразный «вал». Этот опыт позволяет весьма точно определить размеры масляного пятна, при котором слой масла начинает оказывать сопротивление сжатию.

Зная количество масла, помещенного на поверхность, и площадь образовавшегося черного пятна, несложно определить толщину масляного слоя. Если этот слой образован молекулами, расположенными в один «этаж», то толщина слоя будет совпадать со средним размером молекул.

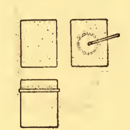


Рис. 41. Масляный слой сопротивляется уменьшению размеров.

Так с помощью простых средств удается сделать интересные измерения.

Производя эти опыты, надо помнить, что на растекание масла сильно влияют загрязнения поверхностного слоя воды, посыпанной тальком. Но его легко можно очистить, протянув по поверхности полоску фильтровальной бумаги.

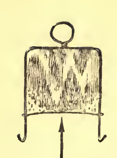


Рис. 42. Мыльиая плеика подтягивает перекладинку.

Мыльные пузыри

Для изучения свойств поверхностного слоя жидкости особенно удобны мыльные пленки *.

Поверхностная пленка жидкости стремится сократиться. Согните проволочку в виде буквы «П» и укрепите на ее ножках подвижную перекладинку (рис. 42). Опустите сделанный приборчик в мыльный раствор и выньте его. Мыльная пленка сейчас же подтянет подвижную перекладинку к вершине буквы «П». Взяв осторожно пальцами перекладинку за края, можно оттянуть ее вниз. Но стоит только разжать пальцы, как она сейчас же подтянется к вершине. Подтягивает перекладинку сокращающаяся поверхностная пленка.

Стремление мыльных пленок сокращаться позволяет решить весьма интересную задачу, давно привлекшую к себе внимание человека. Одна из героинь римской мифологии, Дидона, основавшая согласно легенде Карфаген, договорилась с нумидийским царем Ярбой, что она покупает у него земли лишь столько, сколько может занять воловья шкура. Заключив такой договор, Дидона нарезала из шкуры тонких ремешков, связала их вместе и обвила образовавшимся длинным ремнем большое пространство земли. При этом Дидоне необходимо было решить задачу: какую форму следует придать земельному участку, чтобы ремень охватил возможно больший кусок земли?

Ответить на этот вопрос позволяет мыльная пленка.

Согнем из толстой медной

* При получении прочных мыльных пленок решающим оказывается качество мыльиого раствора. Приготовляется ои из стружки мыла или мыльиого порошка для брнтья, которых берут 2—3 процента от общего количества воды. Плеики получаются более прочиыми, если к мыльному раствору добавить приблизительио половинное (по объему) количество глицериа. Слишком густой раствор перед употреблеиием следует нагреть до 30—40 градусов. Чтобы получить хороший раствор, обычно пробуют иесколько сортов мыла и выбирают наиболее подходящий. Лучших результатов можно достигиуть, воспользовавшись вместо мыла олеииовокислым натром, и приготавлнвать раствор, как это рекомеидоваио в киига Бойса (Ч. Бойс, Мыльные пузыри. Леииград, 1919).

проволоки кольцо и привяжем к нему нитку так, чтобы привязанные концы могли бы перемещаться вдоль кольца (рис. 43). Опустим теперь кольцо вместе с ниткой в мыльный раствор, дадим нитке хорошо намокнуть, а затем вынем его. На кольце образуется мыльная пленка с плавающей на ней бесформенной петелькой. Сведем привязанные к кольцу концы ниточки возможно ближе друг к другу и прикоснемся нагретым прутиком к той части мыльной пленки, которая расположена внутри петельки. Мы разрушим тем самым пленку. Поверхностное натяжение сохранившейся части пленки, стараясь сократить ее, растянет петельку. Легко сообразить, что мыльная пленка будет наименьшей тогда, когда свободное от пленки пространство, обтянутое петелькой, сделается наибольшим. А это условие удовлетворяется в том случае, если петелька принимает форму окружности. И действительно, в геометрии доказывается, что среди всех возможных фигур, имеющих одну и ту же границу, круг обладает наибольшей площадью.

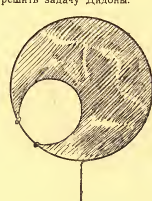
Осторожно перемещая ногтем один из концов нитки, можно наблюдать, как изменяется форма петельки; и во всех случаях при заданных условиях опыта поверхность мыльной пленки будет наименьшей из всех возможных, а охваченная петелькой, свободная от пленки площадка — наибольшей.

Мы видим, что мыльная пленка дает возможность автоматически решить задачу Дидоны при закрепленных концах нити. Ответить же на вопрос: на каком расстоянии на кольце следует закрепить концы петельки, чтобы площадь, расположенная между кольцом и петелькой, была наибольшей, удается лишь с помощью математики.

Из проволочки можно согнуть квадрат и привязать к одной из его сторон концы нитки более короткой, чем сторона квадрата. Повторив все

Рис. 43. Мыльная пленка помогает решить задачу Дидоны.

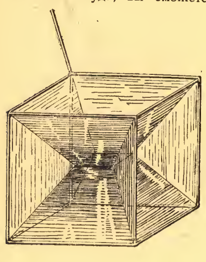




действия описанного опыта с круглым каркасиком, можно узнать, как следовало бы Дидоне расположить ремень, чтобы охватить наибольший приморский участок земли, у которого одна из границ — берег моря.

Попробуйте изготовить из проволоки каркасики различной формы (рис. 44). Опуская их в мыльный раствор и вынимая оттуда, вы сможете увидеть пленки причудливой формы. Надо, однако, иметь в виду, что все они удовлетворяют одному правилу: из возможных в данных условиях поверхностей они обладают самой малой.

О стремлении поверхности жидкости сделаться наименьшей говорит красивый опыт, впервые осуществленный бельгийским физиком Плато.



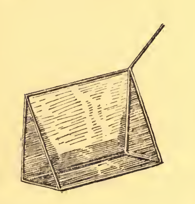


Рис. 44. Мыльные пленки на проволочных каркасах.

Опыт Плато

Вы, наверно, замечали, что маленькие капельки имеют форму шариков. И это неспроста. Шару присуще замечательное свойство: при заданном объеме, или, что то же самое, при заданном количестве вещества, шар является телом с наименьшей поверхностью.

Принять форму правильного шарика жидкости мешает сила тяжести, заставляющая ее растекаться по поверхности. Но освободиться от тяготения, оставаясь на земной поверхности, нельзя. Однако можно сделать так, что сила эта не будет влиять на форму жидкой капли. Достаточно поместить ее в другую жидкость, имеющую тот же удельный вес, что и она сама, но не смешивающуюся с нею, как цель будет достигнута. Для опыта Плато обычно берут анилин, который несколько тяжелее воды.

Правда, анилин не всегда просто достать, и, кроме того, он ядовит. Поэтому мы рекомендуем вместо него приготовить жидкость более тяжелую, чем вода. Это удается сделать,

добавив в обычное подсолнечное масло тяжелой масляной краски, например зеленого кобальта, которым пользуются художники. Смесь должна быть немного тяжелее воды, в чем следует убедиться на опыте. Для этого ее засасывают в стеклянную трубочку с небольшим отверстием (пипетку) и, погрузив конец пипетки под поверхность воды, дают образоваться капельке. Если она тяжелее воды, то опустится на дно, если легче — всплывет на поверхность. Отверстие пипетки, из которого вытекает капля, надо обязательно погружать под поверхность воды, иначе капелька может плавать и в том случае, когда она тяжелее воды.

Приготовив необходимую для опыта смесь масла с краской, следует заняться той жидкостью, в которой будет помещаться капелька. Не стоит пытаться получить ее с точно таким же удельным весом, какой у смеси масла с краской, — практически это невозможно. Лучше приготовить рассол, имеющий внизу больший удельный вес, чем наверху. Помещенная в такую жидкость капелька будет опускаться вниз до тех пор, пока не дойдет до слоя, плотность которого совпадает с ее собственной. В этом слое движение капельки прекратится потому, что удельный вес слоев, расположенных ниже, больше, чем у нее самой, и она будет как бы плавать на них.

Чтобы приготовить нужной плотности жидкость, растворяют в отдельном стакане в воде поваренную соль в таком количестве, чтобы капелька масла с краской не тонула бы, а поднималась на его поверхность.

Взяв второй стакан, наливают в него до половины чистой воды. Приготовленный раствор поваренной соли засасывают в большую пипетку (рис. 45)

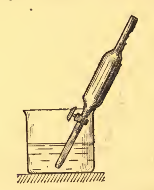


Рис. 45. Приготовление раствора для опыта Плато.

и, опустив конец пипетки до дна стакана с чистой водой, медленно выливают в него соляной раствор. Благодаря большему удельному весу раствор вытесняет воду наверх, располагаясь сам внизу. Можно вливать раствор в воду и просто через воронку, конец которой следует опустить до дна стакана с водой. Необходимо только следить за тем, чтобы жидкость не слишком перемешивалась и чтобы сохранилась существенная разница в удельных весах между ее верхними и нижними слоями.

Если теперь в приготовленную жидкость с меняющимся по высоте удельным весом опустить капельку смеси масла

с краской, то можно увидеть, как она, опускаясь, достигнет слоя с равным удельным весом и остановится, приняв форму шарика, то есть тела с наименьшей поверхностью (рис. 46).

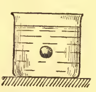


Рис. 46. Опыт Плато.

Рассказывая о замечательных опытах Плато, нельзя не упомянуть о его необыкновенной судьбе.

Жозеф Антуан Фердинанд Плато родился в 1801 году. Следуя желанию своего опекуна, вначале он изучал право, готовясь стать юристом. В дальнейшем, однако, увлекся естественными науками и стал первоначально преподавателем математики, а с 1835 года — профессором физики. В 1843 году, в возрасте 42 лет, Плато слепнет. Преодолевая тяжелое несчастье, он не прекращает свои опыты. Окруженный преданными друзьями, осуществлявшими придуманные им опыты и рассказывавшими ему, что они наблюдают, он продолжает плодотворно работать, обогащая науку ценными открытиями. Умер Плато в 1883 году, явив своей жизнью пример преданности любимому делу.

Стремление поверхности жидкости сделаться возможно меньшей объясняет не только форму капелек, но и самопроизвольный подъем или опускание жидкости в тонких трубках — капиллярах. В этих случаях важная роль принадлежит взаимодействию жидкости со стенкой трубки.

Жидкость граничит с твердым телом

Погрузите стеклянную трубочку в воду. В месте соприкосновения стенок трубки с жидкостью частицы твердого тела придут во взаимодействие с молекулами жидкости, и в трубке возникает вогнутая поверхность (рис. 48). Говорят, что вода смачивает стенки трубочки. Если такой же опыт проделать со ртутью, то получится выпуклая поверхность. В этом случае говорят, что жидкость стенки не смачивает (рис. 47).

И вогнутая и выпуклая поверхности стремятся сократиться. Сокращаясь, вогнутая

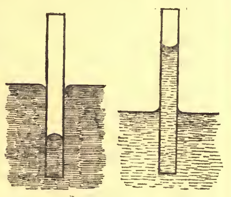


Рис. 48. Поверхность жидкости, смачивающей стенки трубочки.

Рис. 47. Поверхность несмачивающей жидкости в капилляре.

поверхность подтягивает жидкость кверху и делается плоской. Однако в силу взаимодействия частиц жидкости и твердого тела поверхность жидкости вблизи стенки не может быть плоской, она снова сделается вогнутой. Вогнутая поверхность вновь сократится и вновь подтянет за собой жидкость и т. д. Жидкость начнет подниматься вверх по трубочке.

Когда же этот подъем прекратится?

Ответить на этот вопрос несложно; ведь подтянутый в трубочке столбик жидкости висит, поддерживаемый натяжением поверхностной пленки. Ясно, что подъем прекратится тогда, когда сила, стремящаяся сократить пленку, уравновесится весом поднятого столбика жидкости.

Так как вес столбика, деленный на длину окружности сечения, будет меньше в тонких трубочках, чем в толстых, то в первых жидкость поднимется выше, чем во вторых. В стеклянной трубочке диаметром в один миллиметр вода поднимается всего на 3 сантиметра, диаметром в одну десятую миллиметра — на 30 сантиметров, а в очень тонкой трубочке, диаметр которой составляет одну тысячную часть миллиметра, вода поднимется уже на 30 метров. Этим можно воспользоваться для определения диаметра тонких стеклянных трубочек. В самом деле, достаточно опустить трубочку в воду и измерить длину образовавшегося столбика, как сразу станет известен диаметр трубочки без всяких других измерений.

Взгляните на рисунок 49. На нем вдоль горизонтальной линии отложена высота подъема воды. Отметив наблюдаемый подъем, надо провести вертикально вверх линию до пересечения с изображенной на рисунке кривой. Из точки пересечения этих линий проводят горизонтальную линию до пересечения с линейкой, по которой и узнают диаметр трубочки.

Сокращение выпуклой поверхности будет вызывать понижение уровня жидкости в узкой трубочке по сравнению с уровнем жидкости в широком сосуде.

Диаметр трубочки в мм
25
20
15
10
5
1
2
3
4
5
Подъем воды в см

Рис. 49. График для определения диаметра капилляра.

В узкой трубочке уровень несмачивающей жидкости расположится ниже, чем в широкой.

Подъем жидкости в тонких трубочках, или, как его называют, капиллярный подъем, играет большую роль в природе. Особенно велико значение капиллярного подъема в водном режиме почвы. Когда идет дождь, почва увлажняется; однако значительная часть влаги сразу же уходит вглубь, до уровня грунтовых вод. Выше этого уровня важную роль в удержании влаги играет капиллярное поднятие воды. Вода удерживается в порах, образованных отдельными частицами почвы, теми же силами, которые удерживают ее в узких трубочках. Чем тоньше поры, тем выше поднимется влага в почве. В песках, например, высота подъема воды невелика — всего несколько десятков сантиметров. В суглинистых и глинистых почвах она достигает 2—3 метров.

Все эти явления обязательно надо учитывать и при орошаемом земледелии. Если допустить ошибку, то уровень грунтовых вод может повыситься настолько, что начнется капиллярный подъем их на поверхность. Вместе с водой будут выноситься и растворенные в ней соли. В жаркое и сухое время, когда вода быстро испаряется, в верхнем слое почвы может накопиться большое количество солей: почва засолится и выйдет из сельскохозяйственного оборота.

Стремление искривленной поверхности сократиться вызывает появление добавочного давления, возникновение которого легко понять, рассматривая рисунок 50. Оно всегда направлено в ту сторону, с которой поверхность вогнута. Если в трубочке образовалась вогнутая поверхность, то добавочное давление будет направлено вверх, оно как бы всасывает жидкость в трубочку, растягивая ее при этом. В случае выпуклой поверхности добавочное давление направлено вниз, оно заставит жидкость в трубочке опуститься ниже ее уровня в широком сосуде. Поверхностная пленка сожмет в этом случае жидкость.

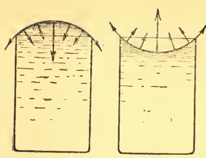


Рис. 50. Возникновение давления под изогнутой поверхностью жидкости.

Давление под кривой поверхностью жидкости

Возникающее при искривлении жидкой поверхности добавочное давление своеобразно изменяет форму мыльной пленки.

Изготовьте из толстой медной проволоки два одинаковых кольца, соединенных перемычкой, как это изображено на рисунке 51. Сжав перемычку и

приблизив кольца друг к другу, опустите их в мыльный раствор, а затем выньте. Если теперь прекратить сжимать перемычку и дать возможность кольцам разойтись, то мыльная пленка образует цилиндрик, слегка сжатый посередине.

Чем обусловлена такая форма пленки?

Причина здесь опять же коренится в добавочном давлении, возникающем при искривлении поверхности жидкости. Действительно, верхний и нижний концы пленки связаны с проволочными кружками. Это приводит к тому, что возникшая мыльная пленка по необходимости имеет кривизну, а следовательно, должна оказывать добавочное давление на воздух, расположенный с той стороны поверхности, с которой последняя является вогнутой, то есть внутрь цилиндрика. Однако воздух внутри цилиндрика свободно сообщается с наружным, и поэтому никакого добавочного давления внутри цилиндрика возникнуть не может. Именно это противоречие и приводит к своеобразной форме мыльной пленки.

В самом деле, если форма колец, к которым прикреплена

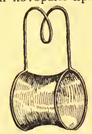


Рис. 51. Мыльная пленка, образовавшаяся между двумя кольцами.

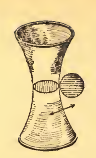


Рис. 52. Образовавшаяся мыльная пленка имеет двойную кривизну.

пленка, обусловливает кривизну, приводящую к возникновению давления, направленного внутрь цилиндра, то сужение цилиндрика в его средней части придает пленке кривизну, вызывающую возникновение давления, направленного в противоположную сторону. Чтобы убедиться в этом, достаточно внимательнее присмотреться к образовавшейся фигуре.

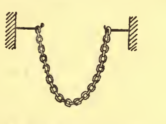
Вырежем из картона кружок, размером совпадающий с узкой частью цилиндра. Если этот кружок расположить вертикально и придвинуть вплотную к наружной поверхности цилиндра в его середине (рис. 52), то можно убедиться, что в той точке цилиндра, в которой его сечение совпадает по размеру с вырезанным кружком, последний плотно прикасается к наружной поверхности цилиндра. Другими словами, кривизна пленки, обусловленная ее цилиндрической формой, в точности совпадает с кривизной, вызванной сжатием цилиндра в его средней части. И это правило сохраняется для любой точки на поверхности возникшей мыльной пленки.

Таким образом, к каждой точке поверхности с ее противоположных сторон можно приложить два одинаковых кружка, один из которых плотно совпадает с поверхностью мыльной пленки, будучи расположен горизонтально, а другой — будучи расположен вертикально. Это убеждает нас в том, что возникшая замечательная поверхность в каждой своей точке имеет две кривизны, приводящие к возникновению противоположно направленных давлений.

Добавочное давление зависит только от свойств пленки и от ее кривизны, а потому возникшие направленные в противоположные стороны давления будут взаимно компенсироваться.

Тело, поверхность которого обладает этим замечательным свойством, называется катеноидом, так как вертикальное сечение его по своей форме совпадает с линией, образуемой подвешенной за концы свободной цепью (рис. 53), именуемой по-латыни catena (катена).

Поверхность катеноида свободна от избыточного давления благодаря тому, что в каждой своей точке она обладает двойной кривизной, одна из которых компенсирует другую. И получается, что парадоксальное на первый взгляд утверждение о том, что искривленная поверхность не обладает кривизной, оказывается справедливым.


Рис. 53. Форма цепи, свободно подвешенной за концы.

Можно доказать также, что поверхность катеноида будет наименьшей, опирающейся на данные два кольца.

Величина добавочного давления непосредственно связана с поверхностным натяжением жидкости. Поскольку силы поверхностного натяжения очень малы, можно предполагать, что в технике и промышленности, где дело имеют с большими силами, о таком ничтожном давлении не следует и вспоминать. Практика показала, что это не так.

Начало нашего века ознаменовалось постройкой гигантских океанских пароходов — первых плавучих городов. Когда корабли были спущены на воду, инженеры столкнулись с неожиданным затруднением: по неизвестной причине гребные винты их приходили в полную негодность, проработав всего несколько часов. Сходные разрушения наблюдались у лопаток мощных гидротурбин.

Несколько лет понадобилось ученым, чтобы найти причину загадочных разрушений. Внимательно изучив работу винта, они установили, что в разрушении металла повинны мельчайшие пузырьки, возникающие в воде при вращении винта. Поверхностная пленка этих пузырьков стремится со-

кратиться, так что пузырьки существуют недолго: возникнув, они быстро захлопываются и исчезают.

Благодаря кривизне стенок пузырька внутри него возникает добавочное давление. Когда пузырек велик, давление мало, но по мере уменьшения пузырька оно возрастает. Что это действительно так, легко доказать: возьмите две стеклянные трубочки, выдуйте на одном из концов каждой из них по мыльному пузырю и соедините вместе свободные их концы резиновой трубочкой (рис. 54). Спустя несколько мгновений вы заметите, как меньший из мыльных пузырей начнет сокращаться, перегоняя воздух, заключенный в нем, в большой пузырь. Иногда даже больший пузырь не выдерживает этого и лопается. Это убеждает нас в том, что действительно чем меньше пузырьки, тем больше в них давление.

Как показывает расчет, при захлопывании упомянутых нами микроскопических пузырьков, или, вернее, разрывов



Рис. 54. Давление пленки меньшего пузыря заставляет его сжиматься, перегоняя воздух в больший пузырь.

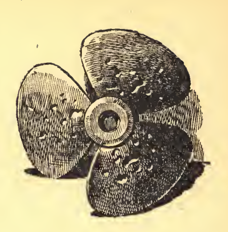


Рис. 55. Разрушение гребного винта, вызванное захлопыванием образующихся в жидкости пузырьков.

жидкости, образующихся в воде, в них возникают огромные давления в тысячи атмосфер. Стенки таких пузырьков сокращаются с большой скоростью, и захлопывание их действует подобно микроскопическим ударам, разрушающим поверхность металла.

При вращении гребного винта или лопастей гидротурбины в жидкости возникает целое облако микропузырьков. Поверхность металла оказывается под непрерывным градом ударов жидкости. Сильные и частые, они являются, несомненно, одной из причин того, что даже прочные материалы быстро разрушаются (рис. 55).

Разрывы жидкости, о которых шла речь, называются кавитацией.

В последние годы кавитацией стали сознательно пользоваться для воздействия на вещество.

Кавитация

Кавитация объясняет многие замечательные явления, сопровождающие распространение мощных звуковых и ультразвуковых волн. Как мы знаем, при распространении волн давление в веществе в результате упорядоченных колебаний его частиц попеременно то повышается, то понижается, то есть возникают попеременные сжатия и разрежения вещества.

В звуковой волне эти изменения давления чередуются медленнее, в ультразвуковой быстрее.

В очень интенсивной волне разрежения могут достичь такой величины, что жидкость не выдержит и разорвется с образованием множества микроскопических пузырьков, или, как говорят, полостей.

Кавитационные пузырьки существуют очень недолго: при смене разрежения сжатием они захлопываются. Возникают огромные давления, измеряемые тысячами атмосфер, которые сопровождаются значительным повышением температуры. А большие давления и температуры, хотя и ограниченные микроскопическими объемами жидкости, могут вызывать существенные изменения во всей ее массе.

Чтобы понять действие кавитации, рассмотрим внимательнее свойства и особенности микроскопических разрывов жидкости. Внутри кавитационных пузырьков, помимо водяных паров и воздуха, находятся мельчайшие капельки воды, оторвавшиеся от ее поверхности. Исследователи убедились, что стенки кавитационной полости и находящиеся внутри нее капельки заряжены разноименным электричеством. При сжатии, когда пузырьки резко уменьшаются, заряды концентрируются на пузырьках очень малых размеров. В результате этого электрическое напряжение сильно возрастает. И между стенками пузырьков и капельками, находящимися внутри них, происходят электрические разряды, подобные микроскопическим молниям (рис. 56).

Электрический разряд может вызывать разнообразные химические превращения. Во время грозы в воздухе, как известно, ощущается своеобразный запах, который объясняется присутствием особого газа — озона, образовавшегося из кислорода воздуха под действием электрического разряда молнии.

Электрические разряды, происходящие в кавитационных пузырьках, также вызывают химические превращения. Молекула воды, например, распадается на атом водорода и так

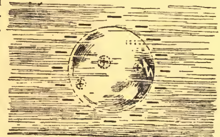


Рис. 56. Электрические разряды в кавитационных пузырьках.

называемый гидроксильный радикал, состоящий из атома кислорода и одного атома водорода. Атом водорода и гидроксильный радикал чрезвычайно активны и вступают в самые разнообразные реакции. Вот почему мощные ультразвуковые волны сопровождаются химическими превращениями. Возьмем, допустим, йодистый калий. Это бесцветное вещество, которое по виду трудно отличить от обычной поваренной соли. Раствор его не окрашен и имеет горько-соленый вкус. Если добавить к нему немного крахмала и пропустить через смесь ультразвук, достаточно мощный для появления кавитации, раствор приобретет красивый темно-синий цвет. Химики знают, что эта окраска вызвана выделением свободного йода, возникшего в результате разрушения молекул йодистого калия. Они скажут, что под действием ультразвука молекула йодистого калия окислилась.

Действительно, то же самое превращение можно наблюдать при добавлении к раствору йодистого калия какого-либо вещества, способного вызывать окисление, например перекиси водорода.

Обычная вода содержит большое количество растворенных газов, главным образом кислорода и азота. Под действием электрического разряда, происходящего в кавитационных пузырьках, молекулы этих газов переходят в особое «активное» состояние, в котором они энергично вступают в различные химические реакции.

Электрическими разрядами объясняется сопровождающее кавитацию интересное явление, называемое звуколюминесценцией. Если в затемненной комнате пропустить через цилиндрический сосуд с чистой водой мощный ультразвук, то можно заметить возникновение в воде слабого свечения. Появляется оно от воздействия электрических разрядов. Газы и пары, наполняющие кавитационные пузырьки, светятся подобно газосветным трубкам.

Удары, возникающие при захлопывании кавитационных пузырьков, способны дробить и жидкие и твердые тела. Если в пробирку налить воды, а поверх нее какое-либо масло, то жидкости не будут смешиваться: более легкая расположится на поверхности более тяжелой. Достаточно, однако, пропустить через пробирку мощный ультразвук, как через несколько мгновений граница жидкостей исчезнет, и в пробирке возникнет однородная непрозрачная жидкость, напоминающая молоко. Хотя образовавшаяся смесь жидкостей может долго не разделяться, это тем не менее не истинный раствор, в котором растворенное вещество измельчено до молекул. Под действием ультразвука жидкость дробится на чрезвычайно мелкие капельки, но им еще очень далеко до истинных молекул. С помощью хорошего микроскопа можно различить и измерить отдельные капельки. Они имеют в поперечнике несколько стотысячных долей

сантиметра и содержат многие сотни тысяч молекул. Капельки так малы, что смешанные жидкости разделяются очень медленно. Такое подобие раствора называют эмульсией, а процесс измельчения вещества — диспергированием.

Человек широко использует различные эмульсии. При постройке дорог применяются так называемые битумные эмульсии. Чрезвычайно разнообразны эмульсии, используемые в пищевой промышленности: тут и различные соусы, и кремы, и начинки для конфет, и т. д. Широко применяются эмульсии в фармацевтической, текстильной и кожевенной промышленности. Кавитация позволяет исключительно быстро приготавливать самые разнообразные эмульсии.

Смесь мелко измельченного твердого тела с жидкостью называют суспензией.

С помощью кавитации удалось приготовить различные суспензии, отличающиеся очень небольшими размерами твердых частиц. В качестве примера можно указать на приготовление светочувствительного слоя фотографических пластинок. Этот слой состоит из желатина, в котором вкраплены мельчайшие частицы бромистого серебра. Под действием света частицы бромистого серебра разлагаются, а при проявлении чернеют; так возникает фотографическое изображение. Качество фотографических пластинок зависит от размера зернышек бромистого серебра. Чем меньше эти зернышки, тем лучше изображение, тем большее увеличение допускает фотография.

На рисунке 57 изображена картина, наблюдаемая под микроскопом при рассматривании светочувствительного слоя фотографических пластинок. Одна из них приготовлена обычным способом, а вторая — измельчением с помощью ультразвуковой кавитации.

В том случае, когда дробление производилось в результате захлопывания кавитационных пузырьков, возникла более мелкозернистая и однородная эмульсия, чем при обычном механическом измельчении.



Рис. 57. Фотоэмульсия, полученная обычным способом и с помощью ультразвуковой кавитации.

Фотографические свойства пластинок, светочувствительный слой которых получен ультразвуковым измельчением, очень высоки.

Захлопывание кавитационных пузырьков играет важную роль в ультразвуковой очистке миниатюрных изделий: металлических частей радиоламп, часовых подшипников, небольших шестеренок и т. д.

При ультразвуковой очистке обрабатываемые детали первоначально моются обычными способами с помощью жидких и парообразных растворителей, а затем поступают в аппарат, наполненный свежей порцией растворителя, через который пропускают ультразвук. Действие кавитации позволяет сократить время, необходимое для очистки, во много раз и гарантировать одновременно высокую степень чистоты обрабатываемых деталей.

Для характеристики ультразвукового способа очистки можно привести такой пример: в некоторых радиотехнических приборах используются стеклянные трубочки длиною около 2 сантиметров с отверстием диаметром всего 0,07 миллиметра. Очистка таких трубочек, особенно их внутренней поверхности, представляет большие трудности и требует много времени. При использовании ультразвуковой чистки для обработки 1 000 таких трубочек требуется всего 8 минут.

Кавитацией объясняется, вероятно, и способность ультразвуковых волн убивать различные бактерии. Микроскопические тельца бактерий являются прекрасными зародышами для возникновения кавитационных пузырьков. Возникновение и захлопывание пузырьков вызывает гибель бактерий. О роли кавитации в данном примере свидетельствует тот факт, что если увеличить внешнее давление на жидкость и тем прекратить образование кавитационных пузырьков, то ультразвук теряет способность убивать микроорганизмы.

Эффективность действия кавитации существенно зависит от натяжения поверхностной пленки пузырька.

При желании поверхностное натяжение жидкости можно изменить. Этого удается достигнуть, добавляя к ней специальные вещества.

Чудесные вещества

Поверхностное натяжение можно легко понизить. Для этого бывает достаточно добавить к жидкости ничтожное количество примеси. Так, например, совсем небольшая доза мыла резко уменьшает поверхностное натяжение воды.

Чтобы убедиться в этом, возьмите чайное блюдечко, налейте в него чистой воды и бросьте на ее поверхность небольшие кусочки бумаги (рис. 58). Постарайтесь распределить бумажки равномерно по всей поверхности, а затем осторожно прикоснитесь к жидкости в центре блюдечка кусочком мыла, заточенным наподобие карандаша. Как только мыло коснется воды, бумажки разбегутся в разные стороны.



Рис. 58. Разбегание бумажек по поверхности воды.

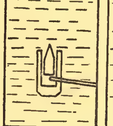
Почему это происходит?

В месте прикосновения мыла к воде возникает мыльный раствор, поверхностное натяжение которого много меньше поверхностного натяжения чистой воды. Чистая вода как бы растягивает образовавшееся пятнышко раствора на всю поверхность жидкости, увлекая при этом плавающие на поверхности бумажки.

Низкое поверхностное натяжение мыльного раствора по сравнению с поверхностным натяжением чистой воды позволяет осуществить такой опыт. Вырежьте из тонкой слюдяной пластинки фигурки, изображенные на рисунке 59. Внешняя фигурка будет представлять собою «пушку», внутренняя — «снаряд». Для свободного движения «снаряда» достаточно сделать двухмиллиметровый зазор между стенками «орудия» и «снарядом». Осторожно расположите «заряженное орудие» на поверхности воды так, чтобы весь приборчик свободно плавал, затем с помощью палочки или проволочки поместите небольшое количество мыльного раствора между «снарядом» и задней стенкой «орудия». Как только мыльный раствор коснется поверхности воды, произойдет «выстрел». Понижение поверхностного натяжения воды выбросит «снаряд», в то время как «орудие» в силу «отдачи» сдвинется в противоположную сторону.

Существуют и такие вещества, которые при растворении повышают поверхностное натяжение воды. К их числу принадлежит сахар. Поэтому если повторить опыт с бумажками, прикасаясь к чистой воде кусочком сахара, то бумажки будут не разбегаться, а, наоборот, собираться к тому месту, где сахар касается воды. Для успеха этих опытов необходимо лишь, чтобы каждый раз вода на блюдечке была совершенно чистой, свободной от примесей.

Способностью уменьшать поверхностное натяжение воды обладают вещества, выделяемые жировыми железками, расположенными в кожном покрове человека. Это дает возможность показать опыт, похожий на фокус. Проведите швейной иголкой по коже ли-



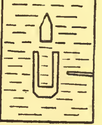


Рис. 59. Поверхностная «пушка».

ца около носа, где расположено много желез. Если теперь прикоснуться острием иголки к поверхности чистой воды, на которой плавают кусочки бумаги, то последние разбегутся от нее, как от кусочка мыла.

Поверхностное натяжение морской воды вблизи расположенных на берегу поселений в несколько раз меньше, чем в открытом море. Причина этого — загрязнение органическими веществами, попадающими в море вместе со сточными водами.

Замечательно, что вещество, понижающее поверхностное натяжение воды, часто бывает само почти нерастворимо в ней, в этом случае оно содержится практически только в поверхностном слое. Эти вещества называются поверхностно-активными.

Очень интересное явление можно наблюдать, если на блюдечко с чистой водой насыпать камфару. Отдельные крупинки ее при этом начинают оживленно двигаться. Вот одна внезапно устремилась вперед, налетела на стенку блюдечка, отскочила, столкнулась с другой, потом начала вдруг быстро вращаться, потом снова устремилась вперед. Движение крупинок так похоже на движение живых существ, что само явление назвали «пляской камфары». Объясняется оно опять же тем, что поверхностное натяжение раствора камфары меньше, чем у чистой воды, а растворение крупинок происходит неравномерно. В какое-то мгновение вырвавшийся поток молекул снижает поверхностное натяжение воды и одновременно отталкивает крупинку, так же как при выстреле приклад ружья отталкивает плечо стреляющего. В результате такого сложного взаимодействия и возникают причудливые движения камфары — крупинки начинают плясать.

Своеобразные свойства камфары дают возможность осуществить простые и занимательные опыты.



Рис. 60. Реактивный кораблик.

Если вырезать из парафинированной бумаги маленький кораблик (рис. 60) и приклеить воском или клеем «БФ» к его задней части, вырезанной в виде ласточкиного хвоста, крупинку камфары, то спущенный на воду кораблик начнет быстро и непрестанно двигаться. При этом «за кормой» можно заметить такое же движение поверхности воды, как если бы кораблик приводился в движение вращающимся винтом. Кусочек камфары непрестанно испускает поток молекул, образующих на поверхности воды слой раствора с малым поверхностным натяжением. Камфара в этом слое испаряется, а на ее место из кусочка в раствор поступают новые молекулы камфары.

Вылетающим из крупинки камфары потоком молекул можно привести в движение маленькую мельницу, своего рода «поверхностную турбинку». Для этого к дну кюветки

приклеивают воском иголку, на которую надевают вырезанное из слюдяного листочка колесо турбины (рис. 61). (В колесе следует сделать отверстие большее, чем иголка, чтобы вращение происходило с минимальным трением). Затем закрепляются три иголки в точках *A, B, C,* которые должны удерживать сам корпус «турбинки». Кюветка наполняется водою, на поверхности которой располагается построенная «турбинка». Поместив в корпусе «турбинки» кусочек камфары, вы будете наблюдать вращение колеса.

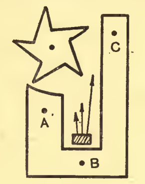


Рис. 61. Поверхностная «турбинка».

В той же кюветке можно смонтировать своеобразное сегнерово колесо. Из слюдяного листочка или вощеной бумаги вырезают коромысло, как изображено на рисунке 62, и в

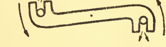


Рис. 62. Сегнерово колесо на поверхности воды.

углублениях по концам его укрепляют по кусочку камфары. В середине коромысла делают отверстие для иголки, служащей осью. Налив воды в ту же кюветку, в которой демонстрировался опыт с «турбинкой», располагают коромысло на водной поверхности, пропустив иголку в отверстие посередине коромысла. Поток молекул камфары заставит коромысло быстро вращаться.

Рассказали мы так подробно об особенностях поведения камфары потому, что они помогли ученым решить одну интересную задачу, возникшую при исследовании свойств жидкостей.

Молекулярный частокол

Крупинки камфары пляшут только на чистой поверхности воды. Прикоснитесь к ней кусочком мыла — крупинки замрут и будут лежать неподвижно.

Оказывается, для прекращения «пляски камфары» достаточно, чтобы мыло или какое-либо другое поверхностно-активное вещество образовало на поверхности воды слой толщиною всего в одну молекулу. Этим свойством камфары ученые воспользовались при решении очень важной задачи. Они определили с ее помощью, сколько нужно того или иного поверхностно-активного вещества, чтобы оно полностью закрыло поверхность жидкости слоем толщиною в одну молекулу. Узнав это количество, легко было найти число молекул, укладывающихся в по-

верхностном слое. А потом вычислить и площадь, приходящуюся на одну молекулу.

Когда такие опыты были проделаны с молекулами различных поверхностно-активных веществ, получился на первый взгляд совершенно непонятный результат: все исследованные молекулы занимали в поверхностном слое одну и ту же площадь.

Чтобы объяснить это непонятное явление, пришлось принять во внимание особенности строения молекул исследованных веществ.

Молекулы многих поверхностно-активных веществ и, в частности, мыла состоят из длинной цепочки соединенных друг с другом атомов углерода, к которым присоединены атомы водорода. Один конец такой молекулы имеет утолщение, похожее на головку. Оно более сложно и по своим свойствам отлично от присоединенной к нему цепочки атомов. Утолщение это энергично взаимодействует с молекулами воды, оно, как говорят, гидрофильно. Цепочка же, содержащая атомы углерода и водорода, наоборот, не взаимодействует с водой, она ею выталкивается. Про эту часть говорят, что она гидрофобна. Попав на поверхность воды, гидрофильная часть стремится углубиться в воду, в то время как остальная нитеобразная часть молекулы водою выталкивается.

В результате подобного взаимодействия частицы поверхностно-активного вещества располагаются в поверхностном слое упорядоченно, образуя как бы частокол или щетку (рис. 63).

Эти свойства молекул объясняют, почему в описанных опытах, когда длина цепочки изменялась почти в два раза, площадь, занятая каждой частицей, оставалась приблизительно одной и той же: она определялась размерами утолщенной части молекулы, которая была одинаковой у всех исследованных веществ.

Как оказалось, поперечник молекулы составляет несколько стомиллионных долей сантиметра.

У мыльного пузыря, естественно, две поверхности — внутренняя и внешняя, обе они по-

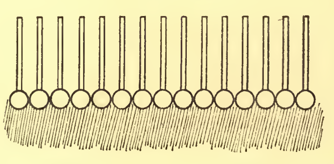


Рис. 63. Строение поверхностного слоя водного раствора мыла.



Рнс. 64. Поверхностные слон в мыльном пузыре.

крыты частоколом молекул (рис. 64). Торчащие из воды нитеобразные концы молекул мыла лишь слабо взаимодействуют друг с другом. Поэтому поверхности мыльных пузырей могут соприкасаться, а пузыри сливаться не будут. Вот почему, обладая некоторой сноровкой, удается выдуть один мыльный пузырь в другом (рис. 65) так, что меньший будет лежать внутри большого.

Свойства веществ, повышающих поверхностное натяжение, и тех, которые его понижают, взаимно противоположны. Если добавить к раствору мыла поваренной соли, повышающей поверхностное натяжение воды, то часть мыла из раствора выделится. Такое выделение вещества называется «высаливанием». Им пользуются при производстве мыла.



Рис. 65. Два мыльных пузыря один в другом.

Пены

Необычные свойства поверхности мыльного раствора объясняют образование стойкой мыльной пены в воде.

Действительно, если в каком-либо месте поверхности защитный слой из торчащих, как щетка, молекул мыла нарушится, разорвется, обнажив воду, то поверхностное натяжение в этом месте возрастет. Это, в свою очередь, приведет к тому, что возникший разрыв сейчас же закроется новым слоем молекул мыла за счет избытка их в воде.

Пены находят себе различные применения в промышленности.

В начале нашего столетия русский инженер А. Г. Лоран предложил использовать пены для тушения пожаров. Применение пены позволяет успешно гасить горящую нефть, бензин и другие жидкости. Объясняется это тем, что при подобных случаях горит, по существу, не жидкость, а ее пар; пена же, размещаясь по поверхности горящей жидкости, образует слой, преграждающий поступление тепла от пламени к жидкости, а также паров горючей жидкости к пламени, и последнее гаснет. Рисунок 66 поясняет, что происходит при га-

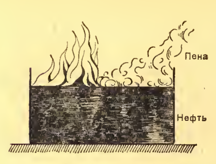


Рис. 66. Гашение пожара пеной.

шении горящей жидкости пеной.

Необходимая для тушения пожара пена получается или в результате химической реакции, сопровождающейся образованием большого количества углекислого газа, или же механически — смешением воздуха с раствором, образующим пену.

Особенно большую роль в жизни человека играют различные затвердевшие пены. Достаточно указать, что потребляемый нами каждый день хлеб представляет собой подобную пену. Разнообразные кондитерские продукты, такие, как пастила, бисквиты, некоторые кремы, также являются пенами.

Широко применяются в строительном деле новые пенообразные материалы: пеностекло, пеношлак, пенобетон...

В Советском Союзе впервые в мире были изготовлены промышленные образцы пеностекла. Этот ценный строительный материал отличается высокими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, легко обрабатывается, негорюч и долговечен.

Применение пенобетона значительно уменьшает вес различных строительных сооружений.

Особенно разнообразны пористые материалы, приготовленные на основе вспененных пластических масс, так называемые пенопласты.

Для получения пенопластов пользуются двумя способами. По первому из них в размягченную или жидкую пластмассу вдувают под давлением газ и сбивают ее подобно тому, как это делают со сливками. После такой процедуры образовавшемуся пеноматериалу дают возможность затвердеть.

По второму способу измельченную твердую пластмассу смешивают с веществами, выделяющими при повышении температуры газ. Поместив смесь в закрытую металлическую форму, ее нагревают. Пластмасса размягчается, а образующиеся пузырьки газа вспенивают ее. Таким способом получают материал с большим количеством замкнутых пор.

Промышленность выпускает пеноматериалы с ничтожным удельным весом. Например, один кубический метр пенопласта, называемого мипорой, весит всего 15 килограммов (рис. 67).

Мипора не только очень легкий материал, но и прекрасный теплоизолятор.

Небольшой удельный вес и плохая способность впитывать воду обеспечивают пенопластам применение при изготовлении паромов, буев, понтонов, поплавков гидросамолетов.

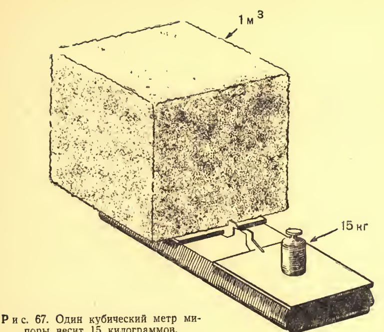


Рис. 67. Один кубический метр мипоры весит 15 килограммов.

В комбинации с металлами и обычными пластмассами пенопласты применяются в самолетостроении, производстве автомобилей и легких судов, градостроительстве, вагоностроении и т. д.

Можно приготовить пеноматериалы с не замкнутыми порами, а со сквозными. Тогда получатся материалы со свойствами губки. Они также находят себе практическое применение и называются поропластами.

В последние годы люди стали использовать не твердые, а жидкие пластмассовые пены. Известно, что нефтепродукты хранятся в металлических баках — резервуарах. Эти емкости в жаркие летние дни приходится для охлаждения поливать водою, чтобы уменьшить потерю ценных легко испаряющихся продуктов. Можно избежать расхода воды, поместив на поверхность нефти слой жидкой пластмассовой пены. Маленькие пузырьки ее являются прекрасной изоляцией, защищающей нефть от испарения даже в сильную жару.

В некоторых случаях пузырьки пластмассовой пены наполняют не газом, а жидкостью, например бензином, керосином, соляровым маслом. Тогда пенопласт является как бы оболочкой, удерживающей горючую жидкость. Такие материалы называют твердым горючим. Твердый бензин может храниться открыто на солнце, на морозе, в воде. В таком виде доставляют горючее на по-

лярные станции Арктики и Антарктики.

Перед употреблением топливо извлекается из пластмассовой оболочки, для чего брикеты твердого бензина или керосина сжимают или пропускают через специальную машину. Пластмассовая оболочка пузырьков лопается, и горючее стекает в бак.

Не всегда, однако, пена представляет ценность. Бывает и так, что образование ее весьма нежелательно для нормального протекания того или иного процесса. Так, например, в сахарном производстве, при приготовлении фотографических эмульсий, в процессе обезгаживания масла иногда возникают большие затруднения, обусловленные нежелательным образованием пены. В этих случаях приходится придумывать специальные приемы борьбы с нею. Какой-то общий рецепт здесь предложить невозможно. Для уничтожения пены применяют различные химические вещества, разрушающие поверхностный слой, придающий ей прочность. Уничтожение пены иногда приносит большую экономическую выгоду.

Одной из наиболее важных областей применения поверхностно-активных веществ является замечательный метод обогащения руд, называемый флотацией.

Флотация

Потребность человека в различных металлах и минералах непрерывно и быстро возрастает. По приблизительной оценке в течение последних 100 лет добыча железа увеличилась более чем в 100 раз, меди — в 65 раз, минерального топлива — в 75 раз.

Руды металлов и ценные минералы встречаются, как правило, вместе с пустой породой, не имеющей ценности и затрудняющей их переработку. Иногда пустой породы оказывается так много, что перерабатывать руду невыгодно. Однако быстрое истощение богатых залежей заставляет обращаться к разработке бедных рудою месторождений. В этих случаях прибегают к обогащению, позволяющему увеличить долю руды или ценного минерала в извлекаемом материале, уменьшить в нем содержание пустой породы. Способы обогащения руд различны. Среди них важное место занимает флотация.

В наше время с ее помощью обогащается более 100 миллионов тонн различных руд в год.

При флотации используются особенности взаимодействия пузырьков газа с поверхностью различных твердых тел. Принцип этого способа можно продемонстрировать на таком простом опыте: налейте в стакан газированной воды и бросьте в нее виноградную ягоду. Первоначально ягода потонет и будет лежать на дне стакана. Присмотревшись внимательно, можно заметить, что выделяющиеся из воды на поверхности ягоды пузырьки газа прочно к ней прилипают. Пройдет некоторое время, и

приставшие к ягоде пузырьки, как понтоны, подведенные под затонувший корабль, поднимут ее наверх, несмотря на то, что она тяжелее воды. Когда ягода всплывет, пузырьки исчезнут, и она вновь упадет на дно стакана. На дне к ее поверхности снова прикрепятся пузырьки газа и вновь поднимут ее наверх. Путешествие ягоды будет повторяться до тех пор, пока из газированной воды не перестанет выделяться газ.

Однако пузырьки прилипают далеко не ко всякой поверхности. Возьмите два стеклянных шарика; один тщательно вымойте мылом и водой, а другой протрите какимлибо маслом или жиром, а затем опустите оба шарика в стакан с газированной водой. При этом можно видеть, как выделяющиеся пузырьки газа будут прилипать к поверхности шарика, покрытого жиром, и в то же время не будут удерживаться на поверхности того, который чисто вымыт.

Эти опыты убеждают нас в том, что можно осуществить разделение смеси кусочков твердого тела с различной поверхностью. Одна часть смеси при этом будет всплывать вместе с пузырьками воздуха, а другая опускаться на дно. Название этого метода подчеркивает его сущность, потому что flotter (флоте) по-французски означает «плавать».

Хотя первое упоминание о применении флотации встречается еще в иранской рукописи XV столетия, промышленное использование ее относится лишь к нашему веку.

Рассказывают, что толчком к развитию флотации послужило наблюдение одной американской учительницы. Стирая однажды грязные мешки из-под медного колчедана, она заметила, как на поверхность воды вместе с мыльной пеной всплывают крупинки колчедана.

Руда, подвергающаяся флотации, первоначально мелко дробится с таким расчетом, чтобы каждая отдельная частичка состояла бы или только из полезного минерала, или же только из пустой породы. После измельчения руда перемешивается с водой, к которой добавлены специальные вещества — флотореагенты. Одна часть флотореагентов, так называемые собиратели — обычно маслянистые вещества — избирательно смачивает ценный минерал и не смачивает пустую породу. Вторая группа — вспениватели — обеспечивает создание устойчивых пузырьков пены. При встрече с пузырьками воздуха судьба крупинок минерала и пустой породы различна. Как мы видим на рисунке 68, покрытые маслянистой пленкой кусочки минерала оказываются в плену у пузырьков воздуха и уходят вместе с пеной на поверхность. Хорошо же смачивающиеся водой крупинки пустой породы не удерживаются пузырьками и падают на дно. Расход собирателей при флотации очень невелик — это всего десятки или сотни граммов на тонну руды.

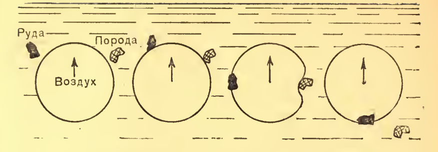


Рис. 68. Схема флотационного обогащения руды.

Смесь измельченной руды вместе с водой (на техническом языке — пульпа) загружается в левую камеру машины (рис. 69). Через кран в левом верхнем углу камеры туда же добавляют флотореагенты. Содержимое энергично перемешивается. При этом в пульпу засасывается много воздуха и образуется обильная пена. Вспененная масса поступает в правый сосуд, в котором каменная порода оседает на дно, а ценный минерал вместе с пеной сливается через сток в специальные отстойные сосуды.

Флотационным методом пользуются при обработке руд различных цветных металлов,

Рис. 69. Флотационная машина.

разнообразных ценных минералов, углей.

Тем, что рассказано, не исчерпываются различные применения поверхностно-активных веществ. Широко используются они при стирке белья и мойке шерсти. Частицы грязи обычно покрыты маслянистыми веществами. При добавке мыла молекулы входящих в него поверхностно-активных веществ располагаются упорядоченно: в воду погружаются гидрофильные концы, а остальная часть внедряется в маслянистую пленку. Окружая частицы загрязнения молекулярным слоем, мыло уменьшает силу, удерживающую их на очищаемой поверхности, способствует дроблению капелек масла на более мелкие и мешает отмытым частицам вновь загрязнить тело.

Используются поверхностно-активные вещества и при изготовлении многочисленных эмульсий, находящих себе самое разнообразное применение в различных областях техники, медицине, быту. Именно они делают стойкими многочислен-

ные смазки, лекарственные препараты, кремы.

Позднее мы возвратимся еще раз к замечательным свойствам этих веществ.

Жидкость превращается в пар

В жизни мы постоянно наблюдаем переход вещества из жидкого состояния в газообразное. Присмотримся повнимательнее к этому явлению.

Вот, например, блюдечко с водой. Каждый знает, что спустя некоторе время вода испарится. Каким же образом это происходит?

Молекулы жидкости, в том числе и те, которые находятся вблизи поверхности, непрерывно движутся. Казалось бы, если молекула движется по направлению к границе, отделяющей жидкость от воздуха, она обязательно покинет жидкость и перейдет в воздух, став частицей водяного пара. Однако дело не так просто. Когда молекула приблизится к поверхности, силы притяжения частиц, расположенных ниже, будут стремиться ее удержать. Она сможет преодолеть притяжение и оторваться от своих соседей только в том случае, если будет двигаться очень быстро. Но таких молекул в жидкости немного, и поэтому испарение, как правило, происходит не очень быстро.

С повышением температуры число частиц, движущихся с большой скоростью, возрастает и жидкость превращается в пар быстрее. Мы знаем, что мокрое белье высыхает на солнце скорее, чем в тени. На теплой плите вода, налитая на блюдце, испарится раньше, чем на холодном подоконнике.

Но ведь если отрываются от поверхности только быстро движущиеся молекулы, то при испарении их количество в жидкости должно непрерывно уменьшаться. В свою очередь, если число быстрых молекул будет делаться меньше, то, очевидно, будет уменьшаться и средняя скорость движения частиц, а следовательно, и температура? Да, это так.

Налейте на ладонь какую-либо легко летучую жидкость—эфир, спирт, бензин— и, поднеся руку ко рту, подуйте на нее. Вы тотчас же почувствуете охлаждение, вызываемое быстрым испарением. Кто не дрожал от холода на легком ветерке даже в сравнительно теплый день, выйдя после купанья из реки? И здесь охлаждение обусловлено быстрым испарением воды. Достаточно вытереться насухо, и ощущение холода исчезнет.

Поместив блюдечко с водой под колокол воздушного насоса и быстро откачав воздух вместе с образующимся паром, можно настолько ускорить испарение, что вода на блюдечке замерзнет.

То же происходит с жидкой углекислотой, хранящейся в специальных стальных баллонах, снабженных плотно закрывающимся патрубком. Если к этому патрубку прикрепить холщовый мешок и открыть кран, то углекислота с шумом потечет в мешок, который при этом раздуется.

Закрыв кран и отвязав мешок, заглянем в него. Никакой жидкости там не обнаружится. Мешок окажется наполненным белым пушистым снегом. Но не пытайтесь слепить из него снежок. Это может окончиться тяжелым ожогом рук. Снег, наполняющий мешок, — это твердая углекислота, температура которой около минус 70 градусов.

Превращение углекислоты в твердое тело происходит в данном случае опять же благодаря охлаждению, вызванному быстрым испарением жидкости.

Охлаждение, сопровождающее испарение жидкости, играет важную роль в жизни растений и животных. Протоплазма, находящаяся в клеточках как первых, так и вторых, погибает при высокой температуре. Поэтому в жаркие дни растения испаряют большее количество воды и тем самым охлаждаются. Если растение получает недостаточно воды из почвы, оно вянет.

В коже человека расположено большое количество потовых желез. Когда в жаркий день человек потеет, то пот, испаряясь, понижает температуру его тела.

Собаки не имеют под меховым покровом потовых желез и потому в жаркие дни высовывают язык и учащенно дышат, чтобы ускорить испарение.

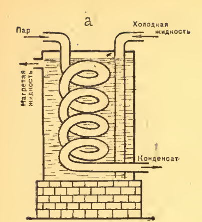
Если требуется испарить жидкость без охлаждения, необходимо непрерывно подводить к ней теплоту, которую называют скрытой теплотой парообразования, поскольку температура при этом не изменяется.

Различные жидкости имеют разную скрытую теплоту парообразования; для испарения одного грамма спирта требуется иное количество тепла, чем для испарения такого же количества керосина или эфира.

Особенно велика скрытая теплота парообразования воды. Тем количеством теплоты, которое идет на превращение в пар одного грамма воды, можно было бы нагреть пять с половиной граммов ее от нуля градусов до кипения.

Конечно, скрытая теплота испарения не исчезает бесследно. Она выделяется вновь, когда пар превращается в жидкость. Этим широко пользуются в технике при устройстве различных нагревателей. На рисунке 70*а* изображен один из них. Обогревающий пар поступает в змеевик, конденсируется в нем, а выделяющаяся теплота нагревает окружающую его жидкость.

Конструкции нагревателей очень разнообразны. Разнообразно и их применение. В одних случаях целесообразнее одна конструкция, в других — другая. Так, существуют нагреватели, в которых холодная жидкость помещается в сосуд, окруженный «паровой рубашкой» (рис. 70*б*). Омывая холодные стенки сосуда, пар превращается в жидкость, выделяя необходимую для нагревания теплоту.



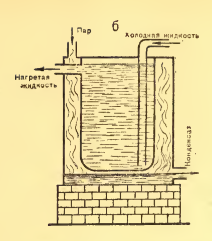


Рис. 70. Паровые нагреватели: *а* — змеевик, *б* — «паровая рубашка».

Ценным качеством парового обогрева является автоматическая регулировка наибольшей температуры, достижимой в нагревателе. Совершенно ясно, что конденсирующимся водяным паром нельзя нагреть жидкость больше чем до температуры кипения воды. В противном случае образовавшаяся вода вновь будет превращаться в пар, забирая на это теплоту, выделяемую при конденсации.

В некоторых случаях для нагрева жидкости пар пропускают прямо в жидкость, в которой он и конденсируется.

Испарение воды играет огромную роль в жизни природы.

Мы уже говорили, как много испаряется воды с поверхности земли. Из общего количества превратившейся в пар влаги почти девять десятых приходится на моря и океаны. На этот процесс тратится гигантское количество солнечной энергии, которая как бы запасается «впрок» в земной атмосфере.

Понятно, что в жарких странах, вблизи экватора, испаряется гораздо больше влаги, чем в странах с умеренным или холодным климатом.

Испарение с морской поверхности смягчает климат приморских стран. Влияние моря приводит к тому, что разница между средними летними и зимними температурами вблизи моря меньше, чем вдали от него. Действительно, в Сочи, например, эта разница составляет 17,5 градуса, а в Москве около 30 градусов.

Испарившиеся вблизи экватора массы воды вместе с воздушными потоками распространяются над поверхностью земли. Попав в более холодные области, пары начинают конденсироваться, отдавая воздуху тепло, захваченное на экваторе.

Так в природе в гигантских масштабах осуществляется выравнивание температуры, которое в наше время еще не под силу человеку.

Подвижное равновесие

Одним из подвигов легендарного греческого героя Геракла была битва с лернейской гидрой. Трудно было победить сказочное чудовище. Девять голов имела гидра, и на месте каждой отрубленной вырастали тотчас две новые.

Стремление человека познать окружающий мир, вырвать у природы ее тайны до некоторой степени напоминает этот поединок Геракла. Найденный ответ на тот или иной вопрос, расширяя наши знания о природе, тотчас же вызывает к жизни новые вопросы, так же настоятельно требующие объяснения, как и первый.

Яркий пример этого — движение молекул; оно позволило понять, почему жидкость испаряется, но сейчас же возник вопрос, почему в бутылке, наполовину наполненной водой и плотно закрытой пробкой, вода не превращается целиком в пар, даже если бутылку поставить в теплое место.

Означает ли это, что молекулы жидкости потеряли способность отрываться от поверхности и переходить в пар? Нет, конечно. Быстро движущиеся частицы жидкости по-прежнему покидают ее, но только теперь этот процесс компенсируется встречным — переходом молекул пара в жидкость, или, как говорят, конденсацией пара.

Постараемся лучше понять происходящее явление.

Как мы знаем, молекулы жидкости сравнительно редко отрываются от ее поверхности. При комнатной температуре это удается примерно только одной из тысячи, пытающихся покинуть воду. Девятьсот девяносто девять остальных возвратятся обратно: их остановит притяжение соседей.

Молекулы же пара, двигаясь беспорядочно, так же как и молекулы жидкости, ударяются о ее поверхность.

Внешне оба явления весьма сходны, но достаточно внимательно присмотреться к ним, чтобы заметить существенное различие.

Предположим, что одна из частиц пара приближается к поверхности жидкости. Молекул, стремящихся удержать ее, в силу малой плотности пара немного. Когда частица достигнет поверхности, притяжение со стороны жидкости будет гораздо больше, чем со стороны пара. Если только поверхность жидкости ничем не загрязнена, то практически каждый удар частицы пара о поверхность сопровождается переходом ее в жидкость. Правда, если жидкость только что налита в плотно закрытый сосуд, то первоначально в парообразном состоянии молекул немного. И тогда покидает жидкость частиц больше, чем приходит в нее, — жидкость испаряется.

По мере же испарения число молекул пара увеличивается,

а одновременно растет и число ударов их о поверхность жидкости: скорость конденсации возрастает. Но испарение жидкости, если температура ее не изменяется, происходит с постоянной скоростью, и совершенно ясно, что рано или поздно скорости конденсации и испарения сравняются. Тогда в каждое мгновение жидкость будет терять столько же частиц, сколько поступает в нее из пара. Испарение как бы прекратится.

Теперь становится понятным, почему плотность жидкости всегда значительно больше плотности ее пара.

Действительно, число испаряющихся и конденсирующихся молекул сравняется только в том случае, если в каждое мгновение о поверхность, разделяющую жидкость и пар, будет ударяться гораздо больше частиц жидкого вещества, чем парообразного. А это будет иметь место лишь при условии, что плотность пара много меньше плотности жидкости.

Следует, однако, отметить, что конденсация пара происходит без всяких осложнений только в том случае, если имеется жидкая поверхность. Облегчает превращение пара в жидкость также присутствие в пару твердых частичек. В тех же случаях, когда капельки жидкости или пылинки, которые принято называть «зародышами» конденсации, отсутствуют, превращение пара в жидкость затрудняется. В этих условиях можно достичь температуры значительно ниже той, при которой пар должен превращаться в жидкость, а капелек возникать не будет. Как говорят, пар переохлаждается или делается пересыщенным.

Задержка образования капелек жидкости при отсутствии «зародышей» легла в основу одного из замечательных аппаратов, оказавших человеку неоценимые услуги в борьбе за познание тайн строения атома, за овладение атомной энергией.

Окно в невидимое

При радиоактивном распаде атомов образуются движущиеся с огромными скоростями частицы. Ударяясь о молекулы воздуха, они быстро теряют энергию, и скорость их уменьшается. Так, альфа-частицы радия, о которых уже говорилось, пройдя в воздухе всего несколько сантиметров, движутся уже так же, как и обычные молекулы.

Проследить путь радиоактивных частиц в воздухе представляло большой интерес. Можно было бы выяснить, как происходят соударения с атомами и, самое интересное, узнать, не возникают ли при этом новые частицы. Для решения этой важной задачи ученые воспользовались особенностями конденсации пара.

Прибор, предназначаемый для наблюдения быстро движущихся частиц, возникающих при радиоактивном распаде атомов, называют по имени его изобретателя камерой Вильсона. В простейшем случае — это цилиндр со стеклянной крышкой или со специальными

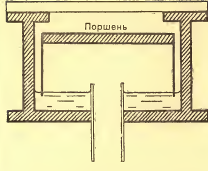


Рис. 71. Устройство камеры Вильсона.

окошками, закрытый подвижным поршнем (рис 71). Пространство между крышкой и поршнем наполняется воздухом, насыщенным парами воды. Предварительно воздух тщательно очищается от присутствия каких-либо пылинок, могущих явиться зародышами для образования капелек.

Резким движением поршня понизим давление воздуха в камере. Мы уже знаем, что одновременно понизится и его температура. Если раньше пар в камере был насыщенным, то теперь он сделается пересыщенным и должны возникнуть капельки воды. Но поскольку зародышей конденсации в камере нет, то и капельки не возникают: пар так и остается пересыщенным.

Поместим теперь в камеру крупинку радиоактивного вещества. Вылетающие из него быстро движущиеся частицы соударяются с молекулами воздуха, разбивают их, в результате чего возникают заряженные осколки молекул — ионы, являющиеся прекрасными зародышами для возникновения капелек.

Таким, образом, путь частиц оказывается усеянным мельчайшими капельками, располагающимися подобно нанизанным на нитку бусинкам. При освещении эта цепочка капелек хорошо видна.

Конечно, эти ниточки из капелек существуют очень недолго: тепловые потоки и броуновское движение их быстро разрушают. Поэтому для изучения путей, проходимых частицами, картину, наблюдаемую в камере Вильсона, приходится фотографировать сразу после расширения воздуха. Такая фотография изображена на рисунке 72.

Изучая снимки, полученные с помощью камеры Вильсона, удалось сделать много важных открытий, без которых было бы невозможно овладение атомной энергией.

Картину, сходную с возникающей в камере Вильсона, но осуществленную в гигантских масштабах, можно наблюдать в наше время весьма часто. Вспомните, как иногда в небе

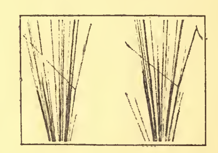


Рис. 72. Пути, проходимые радиоактивными частицами, сделавшиеся видимыми в камере Вильсона.

на ваших глазах возникает узкая белая полоса, которую как будто проводит невидимая кисть. Присмотревшись внимательно, удается заметить, что эта полоса тянется за серебряным силуэтом самолета.

Причина этого красивого явления в том, что на большой высоте земная атмосфера почти свободна от пыли. В этих условиях водяные пары легко переохлаждаются и, несмотря на низкую температуру, не конденсируются. При сгорании топлива в двигателе самолета образуется большое количество заряженных частиц — ионов, прекрасных зародышей для возникновения капелек. Выброшенные вместе с отходящими газами в атмосферу, ионы моментально превращаются в капельки воды, а иногда даже в снежинки. Именно так возникает след, тянущийся за самолетом.

Всегда ли кипяток горяч?

Обычно испарение происходит только с поверхности жидкости. Но при некоторых условиях пузырьки пара образуются и внутри нее. Это наблюдается при такой температуре, когда давление пара в этих пузырьках делается равным атмосферному давлению. Тогда говорят, что жидкость кипит. А температуру, при которой происходит кипение, называют температурой кипения.

Каждое вещество имеет свою собственную температуру кипения. Для воды при нормальном давлении она принята за 100 градусов. Эфир кипит при 34,6 градуса, спирт — при 78,3, ртуть — при 357.

Когда жидкость кипит, температура ее остается постоянной до тех пор, пока вся она не испарится.

На практике можно наблюдать задержку в возникновении кипения; необходимая температура уже достигнута, а образования пузырей пара не происходит. Такая жидкость называется перегретой. Она неустойчива: спустя некоторое время наблюдается бурное вскипание, при котором жидкость толчком подбрасывается вверх.

Особенно часто перегревается жидкость при длительном кипячении. Она при этом лишается растворенного в ней воздуха, мельчайшие пузырьки которого облегчали закипание, делали кипение спокойным.

Химики, которым часто приходится длительно кипятить жидкости, научились предупреждать перегрев. Оказывается, достаточно бросить в колбу с нагреваемой жидкостью кусочки фарфора, маленькие металлические пирамидки или обрезки стеклянных трубочек, чтобы кипение происходило спокойно.

Нетрудно догадаться, в чем причина этого. Между стенками колбы и острыми краями кусочков фарфора или металлических пирамидок оказываются зажатыми очень тонкие слои жидкости, легко перегревающиеся и создающие пузырьки пара, необходимые для равномерного кипения. Таким способом, создавая искусственно местные небольшие облас-

ти перегретой жидкости, удается избежать перегрева всей массы вещества. Важную роль в предупреждении перегрева играют также газы, заключенные в порах кусочков фарфора: они облегчают возникновение пузырьков пара нагреваемой жидкости.

Температура кипения зависит от внешнего давления. При понижении его жидкость закипает при более низкой температуре. В местностях, расположенных высоко над уровнем моря, атмосферное давление ниже нормального, поэтому там вода кипит уже не при 100 градусах, а при более низкой температуре.

Город Ереван находится на высоте 950—1 200 метров над уровнем моря, вода здесь кипит приблизительно при температуре 97—96 градусов.

На зависимости температуры кипения жидкости от внешнего давления основан интересный опыт — закипание воды при охлаждении. Правда, чтобы осуществить его, необходимо достать круглодонную колбу*. Наполнив колбу наполовину водой, нагревают ее до кипения и кипятят не менее 15 минут. Пары воды вытесняют при этом из колбы воздух. Сняв колбу с огня, закрывают ее горло резиновой пробкой и, перевернув вверх дном (рис. 73), укрепляют в таком положении. Если полить теперь сверху колбу холодной водой или, еще лучше, положить на нее пригоршню снега, вода в колбе закипит. Поливая колбу новыми порциями холодной воды, можно заставить ее содержимое закипать несколько раз.

* Круглодонную колбу можно купить в магазине лабораторного оборудования или же попросить в школьном физическом или химическом кабинете.

Объясняется этот опыт очень просто: снег или холодная вода вызывают конденсацию паров, наполняющих верхнюю часть колбы. От этого давление в ней уменьшается и температура жидкости оказывается выше той, при которой под этим давлением закипает вода.

Читатели романа Жюля Верна «Гектор Сервадак», наверное, помнят, как его герой, именем которого назван роман, попадает вместе со своим ординарцем Бен-Зуфом на столкнувшуюся с Землей комету.

Приготавливая завтрак, «Бен-Зуф налил воды в кастрюлю, поставил ее на плиту

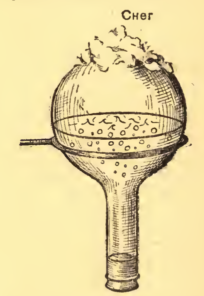


Рис. 73. Кипение воды при пониженном давлении.

и ждал, когда закипит вода, чтобы опустить в нее яйца, которые казались ему пустыми, так они мало весили.

— Черт побери! Как огонь греет теперь! — воскликнул Бен-Зуф.

— Не огонь греет сильнее,— ответил, подумав, Сервадак, — а вода закипает скорее. — И, сняв со стены термометр Цельсия, он опустил его в кипящую воду. Градусник показал только шестьдесят шесть градусов.

— Ого! — воскликнул офицер. — Вода кипит при шестидесяти шести градусах вместо ста!»

Талантливый романист объясняет эти необычные явления тем, что атмосфера небольшой кометы оказывала меньшее давление, чем земная. Естественно, что вода должна была бы кипеть в этих условиях при меньшей температуре, чем она кипит на Земле. Единственная неточность, вполне, впрочем, простительная в фантастическом романе, — это хорошее самочувствие героев. Дело в том, что при 66 градусах вода закипит в том случае, если давление воздуха уменьшится до величины, наблюдаемой в земных условиях на высоте приблизительно 11 километров, то есть до давления в стратосфере. Чтобы в этих условиях чувствовать себя нормально, человеку необходим кислородный прибор.

До сих пор мы объясняли, как влияет понижение давления на температуру кипения. Ну, а что происходит при увеличении внешнего давления? Оказывается, температура кипения при этом повышается. В паровом котле, например, где давление 10 атмосфер, вода кипит при температуре приблизительно 180 градусов.

В глубоких шахтах давление больше атмосферного, и в них вода кипит при температуре, большей 100 градусов. Так скажем, на глубине 600 метров вода кипит уже при 102 градусах!

Некоторые микроорганизмы, вызывающие заболевания или гниение, погибают при температуре 110—130 градусов. Для их уничтожения прибегают к стерилизации — кипячению в воде или обработке водяным паром — при повышенном давлении в специальном приборе, называемом автоклавом.

Так как жидкость не может существовать при температуре выше критической, а последняя для воды равна 374 градусам, то нельзя построить паровой котел, который работал бы при температуре еще более высокой. Температуре 374 градуса соответствует давление пара приблизительно в 218 атмосфер. Это наивысшее давление, достижимое в паровых котлах, работающих на воде. Для получения пара при более высоком давлении его необходимо нагреть дополнительно — перегреть.

Мы видели, что, понизив давление, можно заставить жидкость кипеть при температуре более низкой, чем ее нормальная температура кипения. Превращаясь в пар, кипящая жидкость забирает от окружающего ее вещества скрытую

теплоту парообразования. Этот факт используется при устройстве холодильных машин.

Как же устроены холодильники?

Искусственный холод

Аммиак — бесцветный газ с резким запахом, легко превращающийся в жидкость.

При обычном давлении он кипит при температуре минус 33,4 градуса, но если его сжать, то под давлением в 8 атмосфер он будет кипеть уже при температуре около плюс 18 градусов. Как и некоторые другие легко превращающиеся в жидкость газы, он используется во многих холодильных машинах.

Чтобы понять, как работает холодильная машина, обратимся к рисунку 74. Специальный компрессор *1* сжимает аммиак и направляет его в охлаждаемый водой конденсатор *2*, в котором он превращается в жидкость. Из конденсатора жидкий аммиак поступает через регулирующий вентиль *3* в уложенные в холодильной камере *4* трубы, давление в которых уменьшается до атмосферного или даже ниже.

Если давление в трубах составляет около 0,15 атмосферы, то температура кипения аммиака будет около минус 65 градусов. Испаряясь при этой температуре, он забирает от вещества, наполняющего холодильную камеру, необходимую для испарения скрытую теплоту, поддерживая тем самым в холодильных помещениях низкую температуру.

Испарившийся в трубах холодильной камеры аммиак вновь сжимается компрессором и вновь поступает для охлаждения и сжижения в конденсатор.

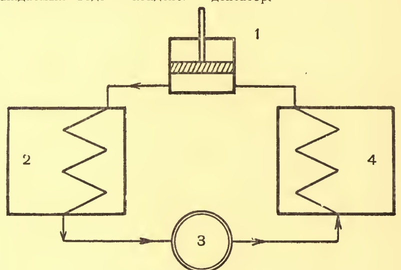


Рис 74. Устройство холодильной машины.

Так работает компрессионная холодильная машина.

В последние годы вместо аммиака в холодильных машинах используют легко превращающиеся в жидкость газообразные вещества, называемые фреонами. Фреоны негорючи, безвредны, лишены запаха.

Компрессионными установками снабжены многие бытовые холодильники. Однако они не являются единственными машинами, производящими холод.

Большое распространение имеют абсорбционные холодильники.

Понять, как работают эти установки, поможет следующий мысленный опыт. Нальем в колбу *А* раствор аммиака в воде и соединим ее с колбой *В*, из которой предварительно выкачаем воздух (рис. 75). Погрузим колбу *В* для охлаждения в воду со льдом, а колбу *А* будем подогревать. Вскоре жидкость в колбе *А* закипит, пары ее поступят в колбу *В* и в ней превратятся вновь в жидкость. В первую

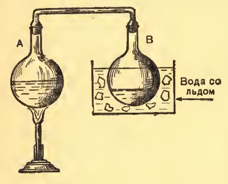


Рис. 75. Принцип работы абсорбционной холодильной машины.

очередь при этом из колбы *А* будет испаряться более легкокипящий аммиак, который и сконденсируется в колбе *В*. Когда в колбе *А* останется очень слабый раствор, нагревание прекратим. Пары жидкого аммиака, наполняющие колбу *В*, начнут жадно растворяться в слабом растворе, оставшемся в колбе *А*. Давление в колбе *В* упадет, и жидкий аммиак в ней закипит, отнимая от окружающего вещества теплоту. Такие же явления происходят при работе промышленной холодильной машины абсорбционного типа, схема которой изображена на рисунке 76.

Концентрированный раствор аммиака помещается в специальный аппарат, называемый генератором. С помощью водяного подогрева температура раствора в генераторе повышается. Раствор кипит. Пары аммиака поступают, как указано стрелкой, в конденсатор и превращаются в нем в жидкость, которая через регулирующий кран течет в расположенный в холодильной камере испаритель. Необходимая для превращения в пар скрытая теплота парообразования забирается от холодильной камеры, в результате чего температура в ней понижается.

Из холодильной камеры превратившийся снова в пар аммиак поступает в так называемый абсорбер. Здесь он встречает слабый раствор аммиака, попадающий в абсорбер из генератора. Аммиак энергично растворяется в этом слабом растворе, выделяя некоторое количество теплоты.

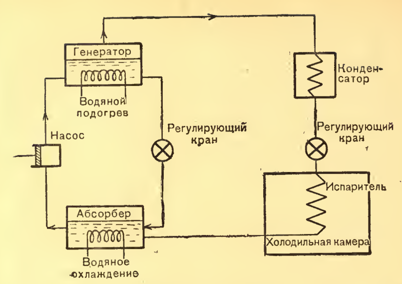


Рис. 76. Устройство промышленной абсорбционной холодильной машины.

Чтобы температура абсорбера не повышалась, он охлаждается водой. Когда раствор, наполняющий абсорбер, поглотит достаточное количество аммиака, он насосом перекачивается в генератор.

Хотя схемы абсорбционной и компрессорной холодильных машин различны, результат их работы один и тот же: обе они отнимают теплоту от холодильной камеры, или, как говорят, производят холод.

Получение искусственного холода играет очень важную роль в промышленности и народном хозяйстве.

Первоначально искусственный холод использовался в основном для хранения скоропортящихся пищевых продуктов. И в наше время холодильные установки продолжают играть очень большую роль в пищевой промышленности, позволяя сохранять и транспортировать свежее мясо, рыбу, овощи, фрукты. Огромные корабли — рефрижераторы, принимающие в трюмы-холодильники тысячи тонн рыбы, позволяют замораживать рыбу сразу же после улова.

Быстро замороженные ягоды и фрукты сохраняют длительное время присущие им аромат, вкусовые и питательные свойства, так же как и содержащиеся в них ценные витамины.

Важное значение имеет искусственный холод для различных отраслей химической промышленности.

При переработке нефти охлаждение применяется для освобождения тяжелых масел от парафина; в коксохимической промышленности при отделении от газа некоторых примесей; в резиновой промышлен-

ности для охлаждения обрабатываемых смесей и т. д.

Интересное и важное применение находит себе искусственное охлаждение при производстве горных работ, а также при строительстве метро, если имеется опасность прорыва подземных вод. В этих случаях прибегают к созданию ледяных стен или цилиндров.

При строительстве наклонных шахт метро искусственно создаются наклонные ледяные цилиндры, принимающие на себя давление грунта и воды. Для замораживания почвы бурят специальные скважины, в которые накачивают охлажденный в холодильных установках незамерзающий раствор. Отняв от окружающего грунта теплоту и в силу этого нагревшись, раствор возвращается для повторного охлаждения в холодильную установку. Так удается создать в грунте необходимую для строительства ледяную защиту.

В процессе затвердевания бетон выделяет теплоту, которая при больших размерах сооружения очень медленно уходит в окружающее пространство. Это приводит к возникновению нежелательной разницы в температурах между уже охладившимися частями и теми, от которых теплота еще не успела уйти. Чтобы избежать этого, прибегают опять же к искусственному охлаждению.

В настоящее время трудно назвать отрасль промышленности, которая в той или иной степени не пользовалась бы искусственным охлаждением.

Вязкость

Сказочные успехи достигнуты наукой за последние сто лет. Развитие электротехники, поставившее на службу человеку энергию рек и водопадов, завоевание воздуха, изобретение радио, овладение неисчерпаемыми запасами ядерной энергии, первые космические корабли, полеты человека в космос и многие другие достижения науки никогда не стали бы реальностью, если бы не опирались на бурное развитие всех отраслей знания. Поэтому неудивительно, если иногда у человека возникает мысль, что какое-нибудь явление природы он изучил полностью и ничего нового в нем уже открыть нельзя.

Но эта мысль ошибочна!

Природа бесконечна, и познание ее никогда не остановится. Не составляет исключения и атомное учение. И в этой очень старой области знания есть еще много неизвестного. За примерами не надо ходить далеко. Достаточно сказать, что до сих пор мы не можем с исчерпывающей полнотой объяснить одно из важнейших свойств жидкости, называемое вязкостью.

В обыденной жизни слово «вязкость» употребляется очень часто. Мы говорим, например, что мед более вязок, чем подсолнечное масло, а подсолнечное масло, в свою очередь, более вязко, нежели вода.

Но как определить точно, что такое вязкость, как ее измерить?

Попытаемся присмотреться внимательнее к поведению какой-либо сильно вязкой жидкости и сравнить ее свойства со свойствами жидкости мало вязкой.

Представьте себе, что вы размешиваете ложкой густую сметану. Рука непосредственно чувствует усилие, которое необходимо для того, чтобы ложка двигалась. Размешайте той же ложкой чай. Потребуется гораздо меньшее усилие. Очевидно, движение твердого тела в мало вязкой жидкости встречает меньшее сопротивление, чем в сильно вязкой. Вот вам один из способов измерения вязкости жидкости: надо определить сопротивление, испытываемое при движении в ней твердым телом правильной формы, например небольшим шариком.

Часто вязкость измеряется иначе. Сравните, как вытекают из одинаковых бутылок такие жидкости, как вода и густой мед. Чем больше вязкость жидкости, тем медленнее она течет. Сравнив время протекания одного и того же количества двух различных жидкостей по узенькой трубочке, мы узнаем, во сколько раз вязкость одной жидкости больше или меньше вязкости другой.

Приняв условно, что вязкость чистой воды при 20 градусах равна 0,01, мы найдем таким способом, что вязкость касторового масла равна 12, то есть в тысячу двести раз больше, а вязкость эфира — 0,0026, то есть в четыре раза меньше, чем вязкость воды.

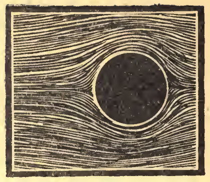


Рис. 77. Слоистое течение жидкости.

Когда для определения вязкости жидкости измеряется сопротивление, оказываемое ею движению твердого тела, надо помнить, что сопротивление будет возрастать не только при увеличении вязкости, но и при увеличении размеров тела. Кроме того, вязкость жидкости — только одна из причин сопротивления движению тела. Она играет главную роль, когда движение происходит с небольшой скоростью. Движущееся тело как бы раздвигает слои жидкости, которые спокойно соединяются сзади него (рис. 77). С возрастанием скорости картина движения изменяется. Частицы среды приобретают вращательное движение, течение делается пульсирующим, в жидкости возникают вихри (рис. 78), приводящие к ее перемешиванию.

Возникновение вихрей требует дополнительного усилия при движении тела в жидкости. Сопротивление движению делается больше. И чем энергичнее вихреобразование, тем больше сопротивление.



Рис. 78. Вихри в жидкости.

Образование вихрей в большой степени зависит от формы тела. Может оказаться более выгодным увеличить размеры тела, но придать ему форму, ослабляющую образование вихрей. Такая форма называется обтекаемой.

Вязкость газов, и в частности воздуха, ничтожно мала. Поэтому сопротивлением, вызванным ею, можно свободно пренебречь. Иначе обстоит дело с сопротивлением, обусловленным образованием вихрей при быстром движении. В этом случае торможение может быть очень большим. Именно поэтому предметам, предназначенным для движения с большой скоростью в воздухе или в жидкости, придают обтекаемую форму.

В чем же причина вязкости и как она связана с молекулярным строением вещества?

Природу вязкости газов удалось объяснить давно. Предположим, что в газе движутся в направлении слева направо две соприкасающиеся струйки: одна быстрее, вторая медленнее (рис. 79). Беспорядочное тепловое движение молекул газа заставляет частицы, движущиеся в одной из струек, залетать в другую. Этот залет частиц компенсируется встречным. В результате молекулы, попавшие из струи, движущейся быстрее, в более медленную, будут ускорять ее движение, а встречные им, попав в быстро движущийся поток газа, будут его тормозить.

Поясним это явление таким, может быть, нежизненным, но наглядным примером: представьте себе два ленточных транспортера, нагруженных зерном и движущихся в одну сторону с различными скоростями. Снабдим транспортеры

Рис. 79. Возникновение вязкости, или внутреннего трения, в газе.



специальным механизмом, перебрасывающим непрерывно какое-то количество зерна с быстрого транспортера на медленный и равное ему во встречном направлении. Первый поток, ударяясь о медленный транспортер, будет увеличивать его скорость, как бы подталкивая его, а встречный — тормозить движение быстрого транспортера.

Такое объяснение позволило предвидеть некоторые особенности поведения газов. Например, удалось подсчитать изменение вязкости газов при изменении температуры. Результат оказался неожиданным: если газ нагревать в закрытом сосуде, то согласно расчету вязкость его возрастет. Многим это казалось невероятным, однако опыт подтвердил предвидение теории: газ, который нагревается без увеличения объема, делается более вязким.

Правильный расчет вязкости газов, сделанный на основании молекулярной теории, много способствовал утверждению в науке атомного учения.

Значительно хуже обстоит дело с объяснением вязкости жидкостей. Воспользоваться теми же рассуждениями, которые дали возможность объяснить вязкость газов, нельзя. Они приводят к результатам, противоречащим опыту. Это не означает, что попадание молекул из быстро движущихся струй в медленные, так же как и встречное, не влияет на свойства жидкости. Несомненно, эти явления имеют место в жидкости. Однако при объяснении вязкости необходимо в первую очередь учитывать те особенности молекулярного строения жидкости, которые отличают ее от газа. Вероятно, решающим здесь является энергичное молекулярное взаимодействие, отсутствующее в газах.

Как бы там ни было, можно с полным основанием утверждать, что, несмотря на большое количество предложенных теорий, до сих пор не существует исчерпывающего объяснения вязкости жидкости.

Вязкость жидкости быстро возрастает при понижении температуры. Наоборот, при нагревании она уменьшается.

При перевозке некоторых жидкостей в зимние месяцы их вязкость настолько увеличивается, что для выгрузки загустевшую массу приходится подогревать.

Иногда при понижении температуры вязкость возрастает настолько, что жидкость теряет одно из своих основных свойств — подвижность частиц; она перестает течь.

Это наблюдается, например, у каменноугольного дегтя — составной части асфальта, которым покрывают улицы городов, автомобильные дороги и т. д. При низкой температуре каменноугольный деготь уже не вязкая жидкость, а блестящее твердое тело с характерным острым изломом. Однако в затвердевшем дегте взаимная подвижность частиц не полностью потеряна. Положите на него небольшой камень или металлическую



Рис. 80. Отпечаток предмета, пролежавшего долго на куске каменноугольного дегтя.

гирьку и оставьте в покое. Через несколько дней на поверхности образуется отпечаток лежавшего на нем предмета.

К такого же рода веществам, как и каменноугольный деготь, относятся различные смолы, стекло, эмали... Более подробно с их свойствами мы познакомимся позже.

Жидкость делается твердым телом

В жизни можно часто наблюдать, как жидкость при охлаждении превращается в твердое тело.

Иногда это происходит (мы об этом только что рассказали) вследствие увеличения вязкости, и тогда жидкость плавно, по мере понижения температуры, все более теряет текучесть, пока не уподобится по своим механическим свойствам твердому телу.

Чаще, однако, превращение в твердое тело происходит скачкообразно, при определенной для каждого вещества температуре. Это явление называют кристаллизацией, а температуру, при которой оно происходит, — температурой кристаллизации.

При кристаллизации изменяется строение тела и одновременно скачкообразно изменяются его свойства.

Но хотя каждое вещество имеет совершенно определенную температуру кристаллизации, на практике его легко охладить ниже этой температуры, и все же оно останется жидкостью. Такую жидкость называют переохлажденной.

Переохлажденная жидкость неустойчива. Достаточно внести в нее маленький кристаллик или даже просто энергично встряхнуть сосуд, в котором она находится, чтобы началась быстрая кристаллизация. Особенно легко переохлаждается расплавленный гипосульфит — основная часть фиксажа, употребляемого для «закрепления» фотографических пластинок. Гипосульфит легко расплавить в стеклянной колбе. Образовавшийся расплав надо профильтровать и оставить спокойно стоять. Как правило, температура опускается до комнатной, а гипосульфит остается жидким — он переохлажден.

Если в колбу с переохлажденным гипосульфитом бросить кристаллик, то он начнет быстро расти и содержимое колбы затвердеет. Одновременно гипосульфит нагреется, в чем легко убедиться, приложив к колбе ладонь.

Жидкость, охлажденная до температуры кристаллизации, может не превратиться в твердое тело, даже если бросить в нее кристаллики. Для кристал-

лизации надо отвести выделяющуюся при этом теплоту. Именно выделение теплоты при затвердевании переохлажденного гипосульфита и нагрело колбу. Конечно, переохлажденная жидкость может нагреться только до температуры кристаллизации. При более высокой температуре образующееся твердое тело будет вновь плавиться.

Замечательно, что, несмотря па отвод тепла от затвердевающей жидкости, ее температура остается постоянной все время, пока продолжается кристаллизация.

В согласии с законом сохранения энергии выделение теплоты при кристаллизации жидкости связано с поглощением равного количества теплоты при плавлении твердого тела. Первую назвали скрытой теплотой кристаллизации, вторую — скрытой теплотой плавления.

Скрытая теплота кристаллизации разных жидкостей различна. Особенно велика она у воды. Теплоты, выделяющейся при превращении одного грамма воды в лед, достаточно, чтобы нагреть тот же грамм воды от нуля приблизительно до 80 градусов.

Большое количество теплоты, выделяющееся при превращении воды в лед, существенно для различных явлений природы. С наступлением холодов реки и озера замерзают не мгновенно, а постепенно. Превращаясь в лед, вода выделяет в окружающее пространство скрытую теплоту кристаллизации. Это затягивает отвердевание воды, и лед образуется более медленно.

Когда наступает весна и начинается таяние льда и снега, большая скрытая теплота плавления льда спасает нас от ужасного половодья, наступившего бы, будь она меньше, например, как у свинца, у которого она составляет приблизительно одну тринадцатую часть скрытой теплоты плавления льда.

Если вспомнить, что ледниковый покров на земле занимает примерно одну девятую часть суши, и если прибавить к нему область вечной мерзлоты — одну пятую часть суши, — то станет ясным, какую большую роль в жизни природы играет скрытая теплота плавления.

При этом подсчете мы не учитывали земную поверхность, занесенную снегом в зимнее время. Прибавив же ее, мы получили бы еще более поразительные цифры. Ежегодно в течение нескольких месяцев площадь, покрытая льдом и снегом, превышает половину всей суши. Обладай вода меньшей теплотой плавления, климат на земле был бы иным, пришлось бы привыкнуть к гораздо более резким изменениям температуры, чем те, с которыми мы имеем дело сейчас.

Переохлаждение жидкостей приходится учитывать и в технике. Вода особенно легко переохлаждается в том случае, если она находится в виде мельчайших капелек — тумана. Переохлажденный туман — большая опасность для авиа-

ции. Ударяясь о поверхность летящего самолета, переохлажденные капельки мгновенно замерзают: самолет начинает обледеневать. Если температура очень низкая, а как показывает опыт, капельки могут быть жидкими и при 25-градусном морозе, и если размеры капелек малы, то они замерзают целиком и представляют для самолета меньшую опасность, чем большие капли. Последние при ударе о самолет распластываются и образуют прочный слой льда, который крепко держится на поверхности самолета. При обледенении вес самолета возрастает, форма крыльев изменяется, может нарушиться управление, обледенение винта снижает мощность мотора. Обледенение самолета особенно опасно потому, что оно иногда происходит очень быстро. Многократно наблюдалось, что слой льда толщиной в пять сантиметров вырастал на крыле самолета всего за одну минуту!

Кристаллизация жидкости облегчается, если в ней присутствуют так называемые центры кристаллизации. Ими могут служить мельчайшие микроскопические кристаллики измельченных нерастворимых в жидкости веществ, не видимые невооруженным глазом пылинки. Легче идет кристаллизация на поверхности твердого тела, например на стенках сосуда, содержащего жидкость. Если в переохлажденную воду погрузить стеклянную трубочку с тонким открытым снизу концом и положить внутрь нее кусочек льда, то первоначально превратится в лед вода внутри трубочки, а когда вся она затвердеет, на конце трубочки вырастет красивый кристалл льда, имеющий форму шестилучевой звездочки.

Без фильтрации не удается переохладить даже расплавленный гипосульфит, этому препятствуют неудаленные центры кристаллизации.

В природе мы постоянно сталкиваемся с превращениями парообразного вещества в жидкое и последнего в твердое. Летним вечером от реки колеблющейся пеленой тянется туман. Это пары воды превратились в мельчайшие водяные капельки.

Ясным осенним утром невольно залюбуешься красивым узором инея, который разукрасил крыши домов, чугунную ограду сада, телеграфные провода. Это та же вода, превратившаяся в твердое состояние.

Что же происходит с мельчайшими частицами вещества — молекулами и атомами, когда жидкое тело превращается в твердое? Как изменяется их движение, как они располагаются в твердом теле?



В МИРЕ ПОРЯДКА

Кристаллы

При затвердевании объем почти всех жидкостей уменьшается. Поэтому можно считать, что, как правило, молекулы или атомы в твердых телах расположены еще ближе друг к другу, чем в жидкостях.

Если молекулы газа распределены хаотично, а в жидкости намечается некоторая упорядоченность в их расположении, то в твердых телах частицы располагаются уже в полном порядке.

Ученые нашли способы узнавать, как расположены частицы, образующие твердые тела. Оказывается, в твердых телах они занимают строго определенные положения. При затвердевании жидкости соседние частицы вещества размещаются в вершинах правильных геометрических тел: кубов, пирамид, призм и т. д.

Все хорошо знают употребляемую в пищу обычную поваренную соль. Каждая крупинка ее представляет собою один или несколько соединенных вместе кубиков, и такая форма не случайна.

Поваренная соль — это химическое соединение двух совершенно различных веществ: хлора и натрия. Однако кристалл ее образован не из молекул хлора и натрия, а из электрически заряженных атомов этих веществ, так называемых ионов. В каждой крупинке поваренной соли ионы расположены так, как это изображено на рисунке 81 (крупные шарики — ионы хлора, более мелкие — ионы натрия).

Подобное расположение ионов наиболее компактно, не занятое ими пространство сведено к минимуму. В науке такое расположение называют плотной упаковкой.

Чтобы закономерность в строении твердого тела сделать более наглядной, указывают расположение не шариков-ионов, которые могут загородить соседние с ними ионы, а их центров, как это сделано на рисунке 82. В этом случае маленькие черные кружочки — центры ионов натрия, а белые — центры ионов хлора. Каждый черный шарик окружен шестью белыми, а каждый белый — шестью черными. Такой порядок наблюдается в лю-

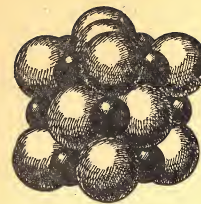


Рис. 81. Расположение ионов в кристалле поваренной соли.

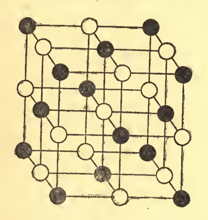


Рис. 82. Расположение центров ионов в кристалле поваренной соли.

бой части крупинки поваренной соли.

Твердые тела с присущей им от природы правильной формой, вызванной упорядоченным расположением частиц, их образующих, называют кристаллами.

Мысль о закономерном строении кристалла зародилась у человека давно. В научных трактатах XVII—XVIII веков высказывается предположение, что кристалл строится в результате сложения мельчайших кирпичиков. Однако строго доказать правильность этой мысли удалось лишь в нашем столетии, когда были изучены особенности прохождения рентгеновских лучей через кристаллы, а также законы их отражения.

Известно, что рентгеновские лучи имеют ту же волновую природу, как и обычный видимый свет, и отличие между первыми и вторыми заключается лишь в том, что волна у рентгеновских лучей много короче, чем у лучей видимого света.

Чтобы понять, как рентгеновские лучи помогают изучить строение кристаллов, проделаем такой опыт: на чистую стеклянную пластинку насыплем равномерным тонким слоем ликоподий *. Если он не удерживается на пластинке, ее можно слегка смазать вазелином и затем вытереть промокательной бумагой. Затемним комнату и закроем настольную электрическую лампочку экраном из черной бумаги, в котором сделаем отверстие диаметром 1—1,5 сантиметра. Экран расположим так, чтобы отверстие приходилось напротив волоска электрической лампочки. Если теперь вы посмотрите на освещенное отверстие через пластинку, посыпанную ликоподием, то увидите очень красивую картину. Освещенное от-

* Ликоподий — споры травянистого растения плауна. Применяется в медицине как детская присыпка. Ликоподий можно купить в аптеке.

верстие окажется окруженным целым рядом радужных колец. Эта картина будет особенно красива при определенном расстоянии между лампочкой и стеклянной пластинкой, которое следует подобрать самому.

Радужные кольца возникают в результате явления, называемого рассеянием света беспорядочно расположенными очень небольшими частицами ликоподия.

Если сфотографировать наблюдаемую картину (рис. 83), то на негативе изображение светлого отверстия будет иметь вид черного пятна, окруженного рядом темных колец.

Рентгеновские лучи невидимы, но они, как и видимый свет, действуют на фотографическую пластинку, вызывая ее потемнение. После проявления на пластинке, на которую упал тонкий рентгеновский луч, видно темное пятнышко. Если же рентгеновский луч заставить предварительно пройти через кристалл, как это показано на верхнем рисунке 84, то на фотографической пластинке появится картина, подобная изображенной на нижнем рисунке 84.

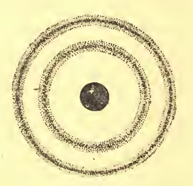


Рис. 83. Рассеяние света мелкими частицами.

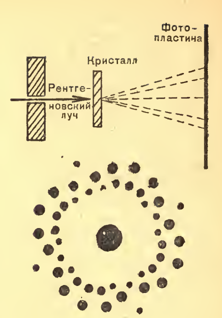


Рис. 84. Рассеяние рентгеновских лучей при прохождении через кристаллы.

Мы видим, что на фотографии, помимо темного пятнышка, наблюдаемого в отсутствии кристалла, возник своеобразный узор из симметрично расположенных темных пятен. Этот узор появился в результате рассеяния рентгеновских лучей правильно расположенными атомами кристалла. Исследуя подобные фотографии, можно сделать ценные заключения о том, как расположены атомы в каком-либо кристалле.

Большую помощь при исследовании строения кристаллов оказало также изучение особенностей отражения рентгеновских лучей от граней кристал-

ла. Дело в том, что рентгеновские лучи отражаются, или, как в данном случае говорят физики, рассеиваются, не только атомами, расположенными в самом наружном слое кристалла, но и теми, которые находятся в следующих слоях (рис. 85). При этом луч (на рисунке он обозначен цифрой *2*), рассеянный атомами, расположенными во втором слое, проходит путь больший, чем луч, рассеянный атомами, расположенными в первом слое (луч *1*). Разность в путях, проходимых первым и вторым лучом (она изображена на рисунке утолщенной линией), зависит, с одной стороны, от того, как направить луч на поверхность кристалла, а с другой — от расстояния между отдельными слоями атомов в кристалле.

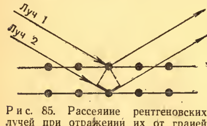


Рис. 85. Рассеяние рентгеновских лучей при отражении их от граней кристалла.

Отразившись от кристалла, лучи *1* и *2* взаимодействуют друг с другом. Но результат взаимодействия их зависит от разности путей, проходимых ими. При одних значениях этой разности взаимодействие приводит к усилению лучей, при других — к взаимному погашению.

Наблюдая, при каких условиях отраженные от кристалла рентгеновские лучи усиливают друг друга и при каких гасят, удалось определить расстояния, разделяющие отдельные слои атомов в различных кристаллах.

Порядок в расположении частиц, из которых построены твердые тела, объясняет данную им от природы правильную форму. Если перед вами лежит причудливая глыба, то это не означает еще, что в ней нарушен присущий твердому телу порядок частиц. Отколите маленькую крупинку и посмотрите на нее в лупу или микроскоп. Вы увидите четкие грани и ребра правильных геометрических фигур. Глыба образовалась в результате случайного сращения множества маленьких частиц правильной формы. Так, поваренная соль, где бы мы ее ни получили — в соляных копях, из солончаковых озер близ Каспийского моря или из вод Северного Ледовитого океана, — всегда имеет форму кубиков.

Если разбить кубик поваренной соли, он рассыплется на несколько меньших кубиков.

Выращивание кристаллов

Кристаллы широко применяются в различных областях человеческой деятельности, а в недрах земли, в природе, их не всегда можно найти в готовом виде и в нужном количестве. Поэтому ученые разработали много способов получения, или, как говорят, выращивания, кристаллов. Самым простым из них является кристаллизация из водных растворов.

Чтобы вырастить большой

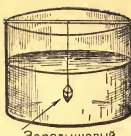


Рис. 86. Выращивание кристалла из водного раствора.

кристалл правильной формы из какого-либо вещества, последнее растворяют в подогретой воде, добавляя его до тех пор, пока растворение не прекратится и на дне не будут лежать нерастворившиеся крупинки. Полученный насыщенный раствор фильтруют, чтобы отделить его от нерастворившихся кристалликов вещества и от посторонних твердых частиц, которые могли в него случайно попасть. Затем раствор сливают в большой стакан или банку и бросают на дно маленький кристаллик растворенного вещества, который и явится зародышем для будущего большого кристалла. Зародышевый кристалл можно укрепить на нитке или волосе, как это показано на рисунке 86.

Теперь все необходимое для роста кристалла сделано. Стакан с раствором и погруженным в него кристаллическим зародышем следует предохранить от попадания в него пыли, прикрыв листком бумаги. Приготовленный раствор будет медленно испаряться, а растворенное вещество выделяться на зародышевом кристалле, увеличивая его размеры. Спустя несколько дней вырастет большой кристалл.

Красивые кристаллы вырастают из раствора алюмокалиевых квасцов *.

Описанным способом выращивания кристаллов, к сожалению, не всегда можно воспользоваться, потому что не все вещества растворяются в воде. В некоторых случаях помочь делу может изменение условий кристаллизации.

Многие читатели видели кристаллы горного хрусталя, или, как его называют, кварца, образующие красивые сростки — друзы (рис. 87).

Кварцевые кристаллы раньше использовались для изготовления украшений. В наше

* Алюмокалиевые квасцы можно купить в магазинах Главхимсбыта.



Рис. 87. Друзы горного хрусталя.

время для этой цели они почти не употребляются, но зато техническое применение их стало очень велико. Из кристаллического кварца изготовляются ответственные детали различных радиотехнических приборов. Можно сказать, что к концу второй мировой войны только Соединенные Штаты Америки в год использовали несколько десятков миллионов пластинок, вырезанных из этих кристаллов! С тех пор потребность в кристаллах кварца возросла во всех странах еще больше; ведь они требуются не только для радиотехнических аппаратов, но являются необходимой составной частью многих распространенных в наши дни физических приборов: измерителей давления, ультразвуковых генераторов, некоторых оптических приборов и т. д. Спрос на кристаллы кварца настолько возрос, что удовлетворить его только добычей естественных друз становится невозможным.

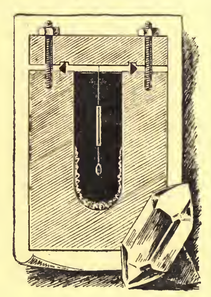
В то же время кварц является одним из самых распространенных минералов. Из маленьких крупинок его состоит обычный песок. Встречается он и среди булыжников, которыми до сих пор мостят дороги. На долю его приходится примерно 12 процентов вещества земной коры.

Перед учеными возникла задача — превратить крупинки кварцевого песка в большие кристаллы правильной формы. В результате настойчивой работы было открыто, что кристаллы кварца можно выращивать из водного раствора так же, как это делают в случае квасцов или поваренной соли.

Конечно, при обычных условиях это сделать невозможно.

Для этого на дно специального толстостенного сосуда, наполненного водным раствором веществ, облегчающих кристаллизацию, помещают крупинки кварца (рис. 88). Сосуд закрывают крышкой, к которой снизу на тонкой металлической нити прикреплен маленький кристалл — зародыш кварца. Крышка плотно привинчивается к сосуду с таким расчетом, чтобы внутри него можно было создать давление приблизительно в тысячу атмосфер. Специальная электрическая печка нагревает сосуд неравномерно. В нижней части, где расположены крупинки

Рис. 88. Аппарат для выращивания кристаллов кварца.



кварца, температура достигает 360 градусов, а там, где подвешен кристаллический зародыш, — несколько меньше, около 340 градусов. В результате такого устройства маленькие крупинки кварца растворяются, и его частицы вновь выделяются в более холодной части сосуда на кристаллическом зародыше.

Этим способом удается выращивать искусственные кристаллы кварца размером в несколько сантиметров.

В сходных аппаратах, но при большем давлении, достигающем до 3 500 атмосфер, и при температурах около 400 градусов выращивают кристаллы сапфиров.

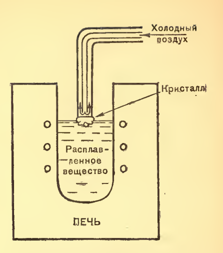


Рис. 89. Выращивание кристаллов из расплавленного вещества.

В некоторых случаях для получения правильных кристаллов твердое вещество расплавляют в специальной печи, поддерживая температуру чуть выше той, при которой происходит кристаллизация. В расплавленное вещество на небольшую глубину опускают «холодильник» — закрытую снизу металлическую трубку, внутрь которой опущена вторая трубка (рис. 89). По ней накачивается холодный воздух, охлаждающий наружную. Понижение температуры наружной трубки приводит к тому, что на ее конце возникает сросток кристаллов расплавленного вещества. После того как этот сросток возникнет, трубку медленно приподнимают, следя за тем, чтобы с расплавленным веществом соприкасались только кристаллы. При этом из большого числа их «выживает» лишь один, который и продолжает расти. Таким способом выращивается большое количество разнообразных кристаллов.

Для получения кристаллов особенно тугоплавких веществ пользуются прибором, изображенным на рисунке 90. Вещество, кристалл которого выращивается, в виде тонкого порошка загружается в резервуар *A*, закрытый снизу ситом с мелкими отверстиями. Чтобы вещество сыпалось через сито непрерывным потоком, по резервуару периодически ударяют укрепленным сверху молотком *M*. Прошедший через сито порошок попадает в трубу *B*, куда специальный насос накачивает кислород. У нижнего конца трубы он смешивается с водородом, идущим по наружной трубе *C*. Возникший гремучий газ горит, создавая очень высокую температуру, при которой плавятся наи-

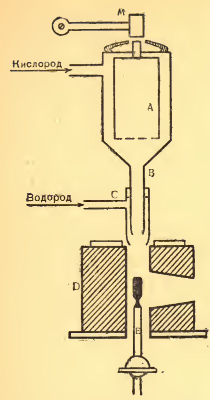


Рис. 90. Прибор для выращивания особенно тугоплавких кристаллов.

более тугоплавкие вещества.

Крупинки порошка превращаются в маленькие капельки. Последние, попадая на тугоплавкую «свечу» *Е*, затвердевают, образуя множество маленьких кристалликов, из которых в дальнейшем растет опять же только один. Увеличиваясь в размерах, он принимает обычно форму перевернутой бутылки, или, как говорят, «бульки». «Свеча» со всех сторон защищена тугоплавкими кирпичами *Д*, в которых имеется окошко для наблюдения.

Этим методом, используя пудру окиси алюминия, выращивают кристаллы корунда.

Корунд — очень твердый материал, уступающий по твердости только алмазу. Сравнительная простота изготовления и дешевизна искусственного корунда обеспечили ему широкое применение в промышленности. Из корунда изготовляют подшипники в часах и различных точных приборах. Большим распространением пользуются корундовые патефонные иглы.

Пользуясь специальной аппаратурой, можно при желании выращивать из корунда стержни. Стержневой корунд применяется в производстве искусственного волокна; из него изготовляют нитепроводники. В этой роли он не имеет конкурентов.

Таким же способом в наши дни выращивают красивый драгоценный камень — шпинель, а также новый искусственный драгоценный камень — титанат стронция, очень похожий на алмаз.

Иногда исходный материал для получения искусственного драгоценного камня растворяют в каком-либо другом расплавленном веществе, подобно тому как квасцы растворяют в воде. Именно так растят искусственные кристаллы со структурой гранатов, используемых при изготовлении чудесных приборов, усиливающих радиосигналы очень большой частоты.

Не следует смешивать искусственные драгоценные камни, о которых говорилось вы-

ше, с теми искусственными камнями, которые умели делать наши предки еще три тысячи лет назад. То были фальшивые драгоценности, только внешне напоминавшие имитируемый материал. У нас же речь шла о веществах, полностью тождественных природным драгоценным камням. Отличие искусственных кристаллов состоит лишь в том, что они приготовлены руками человека и иногда бывают более совершенны, чем их братья, встречающиеся в природе.

Кристалл меняет форму

Остов кристалла, образованный центрами составляющих его частиц, называют кристаллической решеткой. А те места, в которых эти центры помещаются, — узлами решетки.

Не у всех кристаллических тел частицы расположены так, как у поваренной соли.

Законы симметричного расположения атомов в кристаллах были найдены математическим путем замечательным русским ученым Е. С. Федоровым.

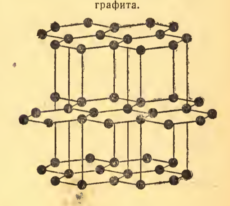
Рассмотрим твердое тело графит. Он построен из частичек углерода, из которого в основном состоит и обычный древесный уголь. Проведите куском графита по твердой поверхности — останется черный след. Способность «мазаться» обеспечивает применение его в качестве материала для изготовления карандашей и особых смазок. Дело в том, что графит, не плавясь, выдерживает температуру более 2 тысяч градусов, поэтому графитные смазки можно применять там, где нельзя воспользоваться никакими другими. Из графита изготовляют огнеупорные тигли, в которых плавят самые тугоплавкие вещества.

Кристаллическая решетка графита изображена на рисунке 91. Она состоит, как мы видим, из отдельных слоев, каждый из которых напоминает рисунком паркетный пол.

Обратите внимание, что соседние атомы углерода, лежащие в одном и том же слое, значительно ближе друг к другу, чем соседние же, но расположенные в смежных слоях. Эта особенность определяет многие свойства графита.

Чем ближе друг к другу частицы вещества, тем больше действующие между ними силы. Поэтому атомы углерода, образующие какой-либо слой, связаны между собою гораздо прочнее, чем атомы, принадлежащие соседним слоям. Малое сцепление соседних слоев позволяет им легко скользить один по другому, а это дает

Рис. 91. Кристаллическая решетка графита.



возможность использовать графит для приготовления смазки. Этим же объясняется тот факт, что графит чаще всего встречается в виде чешуек.

Строение кристалла в первую очередь зависит от химического состава вещества, и поэтому можно, казалось бы, думать, что каждому веществу свойственна только одна определенная кристаллическая решетка. Но это не так. Некоторые вещества могут образовывать кристаллы с решетками различных типов. Все знают, как красиво сияют в лучах света отшлифованные алмазы, или, как их называют, бриллианты. А ведь алмаз состоит из тех же самых атомов углерода, что и черный матовый графит, только кристаллическая решетка алмаза совсем не похожа на решетку графита (рис. 92).

Иное расположение атомов приводит к совершенно другим свойствам. Графит мягок, алмаз — самый твердый минерал

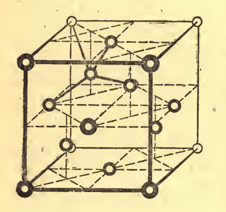


Рис. 92. Кристаллическая решетка алмаза.

в природе, недаром по нему судят о твердости всех других веществ. Графит не прозрачен, алмаз свободно пропускает световые лучи. Графит — хороший проводник электрического тока, алмаз — изолятор. Эти различия в свойствах вызваны разным расположением атомов, разным строением решетки.

Вообще говоря, при определенных условиях одна форма кристаллической решетки может превратиться в другую. Эта мысль была движущей пружиной бесчисленных попыток искусственного получения алмазов. Надо напомнить при этом, что алмазы — это не только материал для приготовления наиболее дорогих драгоценных камней — бриллиантов. Алмазы — важное техническое сырье, в больших количествах используемое промышленностью. Потребность в технических алмазах возрастает с каждым годом. Уже сейчас в каком-то количестве их нуждается почти каждая отрасль промышленности.

Технические алмазы необходимы горной промышленности как составная часть инструментов для бурения твердых горных пород. Из них изготавливают резцы, сверла, шлифовальные круги. При производстве специальных сортов проволоки для волочения используются алмазные фильеры.

Алмаз — редкий минерал. По приближенным подсчетам, за все время люди извлекли из недр земли около 80 тонн алмазов. В течение многих лет попытки осуществить искусст-



Рис. 93. Велнчнны давлення, возникающне в некоторых случаях.

венное получение их оставались безуспешными. В 1940 году советский ученый О. П. Лейпунский определил границы температуры (2 тысячи градусов) и давления (60 тысяч атмосфер), при которых в природе происходил процесс кристаллизации алмазов.

До недавнего времени в лабораториях не удавалось воспроизвести такие условия, которые заставили бы атомы углерода расположиться, образуя не графит, а алмаз.

Последние годы характеризуются большими успехами в деле получения высоких давлений и температур.

С помощью самого простого устройства — цилиндра, плотно закрытого подвижным поршнем, к которому приложена большая сила, — удалось достигнуть и поддерживать в течение нескольких часов давление в 50 тысяч атмосфер, еще не так давно казавшееся недостижимым. Это стало возможным при использовании в качестве материала исключительно трудно сжимаемого вещества — цементированного карбида вольфрама.

Еще большие давления удается получить с помощью специального пресса из того же материала. В нем образец помещают между прижимаемыми друг к другу усеченными конусами. Чтобы веществу не дать возможности просочиться между поверхностями конусов, его окружают кольцом из катлинита — материала, способного сжиматься не разрываясь. При комнатной температуре таким прессом можно достичь давления до 200 тысяч атмосфер.

Существуют и более совершенные приборы, которые дают возможность поддерживать давление более 100 тысяч атмосфер и одновременно повышать температуру до 3 тысяч градусов.

Эти успехи техники позволили приготовить искусственные алмазы. Для получения их пользуются давлением до 100 тысяч атмосфер и температурой около 2 тысяч градусов.



Рис. 94. Пресс-иаковальия для получения высоких давлеиий.

Правда, пока что промышленность выпускает искусственные алмазы только в виде алмазного порошка, но отдельные крупинки его уже достигают почти одного миллиметра. Себестоимость искусственно приготовленного порошка приблизительно на одну четверть больше природного, добытого на алмазных россыпях. Однако это не смущает покупателей,

поскольку испытания показали, что «рукотворные» алмазы более долговечны в работе, чем естественные.

Искусственные алмазы обычно окрашены. Цвет их зависит от температуры, при которой они приготавливаются, изменяясь от черного, при низкой температуре, через темно-зеленый и желтый, до белого — при высокой температуре.

Научившись получать высокие давления и температуры, люди создали в лабораториях минералы, неизвестные в природе. Один из них, названный боразоном, обладает замечательными свойствами.

Этот минерал представляет собой соединение элемента бора с азотом. Химики называют такое соединение нитридом бора.

Но обычный нитрид бора — белое скользкое твердое тело, кристаллическая структура которого отличается от структуры графита только тем, что вместо атомов углерода в шестигранниках кристаллической решетки уложены попеременно атомы бора и азота. Этот минерал называют белым графитом. Повысив же давление приблизительно до 65 тысяч атмосфер и нагрев вещество до 1 500 градусов, ученые заставили частицы нитрида бора расположиться так, как они расположены в алмазе. При этом возник материал — боразон, по твердости и по химической стойкости превосходящий алмаз. Если алмаз нагреть до 1 600 градусов, он сгорит. В то время как боразон может выдерживать температуру 3 500 градусов. Боразон получается в виде крупинок, по величине таких же, как крупинки алмаза, идущие на приготовление шлифовальных кругов.

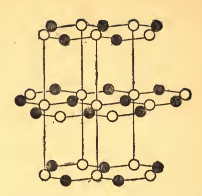
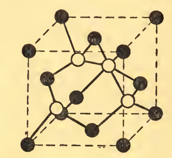


Рис. 95. Кристаллическая решетка нитрида бора.

Нет сомнения, что в ближайшие годы боразон частично заменит в промышленности алмазы. Инструменты, в которых применяется этот минерал, могут работать с большей скоростью, чем алмазные.

Другой искусственный минерал — коэзит — получается из кварца при высокой температуре и большом давлении. Отличительная особенность коэ-

Рис. 96. Кристаллическая решетка боразона.



зита — его исключительная стойкость к действию самых активных химических веществ.

Многообразие мира кристаллов

Среди огромного количества различных химических веществ можно найти и такие, у которых в противоположность алмазу и графиту превращение одной кристаллической формы в другую происходит довольно легко. Подобное превращение явилось однажды причиной большого несчастья.

В 1910 году известный полярный исследователь Р. Скотт отправился на корабле «Терра нова» в экспедицию к Южному полюсу. Полюса экспедиция достигла в январе 1912 года. На обратном пути Р. Скотт и его четыре спутника погибли. Как оказалось, причиной их гибели была потеря жидкого топлива: бачки, в которых оно находилось, разрушились. Это произошло в результате превращения олова, которым были пропаяны бачки, из привычного для нас белого в порошкообразное серое.

Белое и серое олово различаются, так же как алмаз и графит, строением кристалла. При температурах ниже 18 градусов более устойчиво серое олово. Правда, если температура не намного отличается от 18 градусов, скорость превращения обычного олова в серое ничтожно мала. При значительном же охлаждении образование серого олова происходит быстрее и особенно быстро приблизительно при минус 33 градусах. Это и привело к гибели отважных путешественников.

Превращение белого олова значительно ускоряется, если добавить к нему затравку — крупинку серого. Затравка может быть очень малой, иногда достаточно только прикоснуться ею, чтобы превращение пошло быстро; серое олово как бы «заражает» своим прикосновением белое.

В средние века домашняя утварь делалась из олова или различных сплавов, в которых оно было основной частью. И если в каком-нибудь доме на тарелке, ложке или ином предмете образовывалось небольшое количество серого олова, такой предмет «заражал» другие, и вся утварь разрушалась. Это бедствие очень напоминало эпидемическое заболевание, и народ со свойственной ему меткостью назвал его «оловянной чумой». Особенно страдали от «оловянной чумы» органные трубы, изготовлявшиеся из чистого олова.

Красивы и разнообразны кристаллы различных веществ (рис. 97). Разнообразие их часто зависит от особенностей роста. Если кристалл выращивают из переохлажденной жидкости и переохлаждение невелико, кристаллизация происходит медленно, а кристаллы получаются крупными, с правильными гранями. Если же жидкость сильно переохладить и тем ускорить рост кристаллов, они приобретают причудливый вид переплетенных нитей или ветвистого дерева.

Вспомните тонкие морозные узоры на окнах: здесь можно

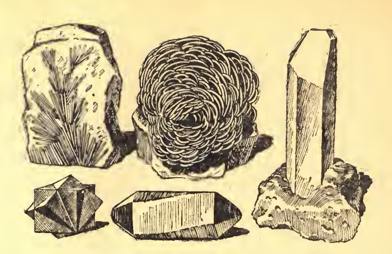


Рис. 97. Красивы и разнообразны кристаллы различных веществ.

увидеть и цветы, и деревья, и замысловатые орнаменты, превосходящие сложностью то, что может создать фантазия художника.

Особенно красивы и разнообразны формы снежинок (рис. 98). Они возникают потому, что снежинка, падая на землю, непрерывно переме-

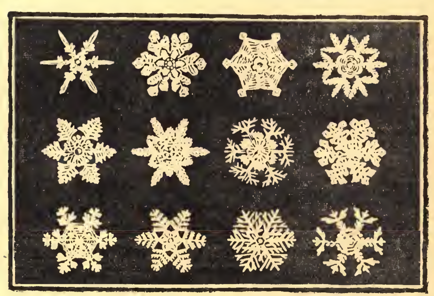


Рис. 98. Снежинки.

щается из одного слоя атмосферы в другой, и при этом непрерывно изменяются условия кристаллизации — иными делаются температура, количество водяных паров и т. д.

Не все кристаллы состоят из атомов или ионов, подобно кристаллам поваренной соли или графита. Существуют кристаллы, состоящие из молекул.

Примером тому — сухой лед, которым охлаждают мороженое. Это превращенный в твердое кристаллическое тело углекислый газ. Частицы, образующие кристалл сухого льда, — молекулы. Они, так же как и ионы в кристалле поваренной соли, уложены с допустимо большей плотностью. Однако молекулы углекислого газа имеют более сложную форму, чем шарики-ионы, и уложить их плотно труднее. Поэтому упаковка кристалла, состоящего из молекул (рис. 99), получается более рыхлой, чем у кристалла, состоящего из ионов или атомов.

Особенно неплотно упакованы молекулы воды в кристалле льда, модель которого изображена на рисунке 100. Для

Рис. 99. Строение кристалла сухого льда.





Рис. 100. Строение кристалла обычного льда.

удобства здесь атомы водорода (черные шарики) и кислорода (белые шарики) изображены одинаковыми, хотя в действительности их размеры различны. Ажурный характер кристалла льда — причина его малой плотности: мы знаем, что лед плавает на поверхности воды. При таянии его молекулы укладываются более плотно, и объем, занимаемый веществом, уменьшается.

То, что удельный вес льда меньше по сравнению с удельным весом воды, имеет огромное значение в жизни природы. Если бы он был больше, то образующиеся при замерзании рек и озер куски льда тонули бы и все водоемы при длительном холоде промерзали бы целиком. Это сильно изменило бы жизнь существ, населяющих земные водоемы. Животный и растительный мир рек и озер выглядел бы совершенно иначе. И то, что лед остается на поверхности

водоема, это благо; он создает тем самым прекрасную тепловую изоляцию для расположенных ниже слоев воды.

Особенности льда играют важную роль также в процессе изменения облика земной поверхности. Вода проникает в трещины в горных породах. Увеличиваясь в объеме при замерзании, она разрывает массивные куски гранита, известняка и других горных пород.

Свойства кристаллов

Упорядоченное расположение частиц делает свойства кристаллов не похожими на свойства жидкостей и газов.

Жидкость, например, одинаково сопротивляется растяжению вне зависимости от того, в каком направлении ее растягивать. Если она разрывается, то никаких определенных плоскостей, по которым преимущественно происходил бы этот разрыв, указать нельзя. Один раз он произойдет так, другой раз иначе.

Совсем по-иному ведут себя кристаллы.

В каждом из них имеются плоскости, по которым разрыв происходит легче, чем по другим. Они называются плоскостями спайности.

Кристалл поваренной соли, какова бы ни была его форма, раскалывается на кусочки, каждый из которых — кубик или прямоугольный параллелепипед.

Слюда от самого незначительного усилия расщепляется на отдельные пластинки. При желании можно изготовить тончайшие слюдяные пленки, более тонкие, чем бумажный листок.

Эти особенности кристаллов объясняются их строением.

Взгляните на кристаллическую решетку поваренной соли. На плоскостях, параллельных любой грани куба, располагаются вперемежку ионы натрия и ионы хлора. Ионы натрия, находящиеся в одной плоскости, будут притягиваться ионами хлора, лежащими в соседней плоскости, и одновременно отталкиваться лежащими в этой плоскости одноименными с ними ионами натрия. А так как ионов натрия и ионов хлора в каждой плоскости одинаковое количество, то такие плоскости будут притягиваться одна к другой в общем с небольшой силой. Это и есть плоскости спайности.

Иная картина наблюдается на диагональных плоскостях (рис. 101). Здесь на одной плоскости встречаются только ионы натрия, а на соседних с нею — только ионы хлора. Силы сцепления между такими плоскостями велики, и кристалл по диагональным плоскостям не раскалывается.

В слюде, так же как и в графите, частицы, лежащие в одном и том же слое, связаны между собою гораздо крепче, чем расположенные в соседних слоях. Поэтому слюда и расщепляется на тонкие листочки.

В том, что свойства кристаллов различны в различных направлениях, можно убедиться, проделав такой простой опыт.

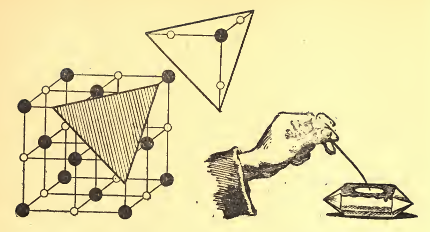


Рис. 101. Диагональные плоскости в кристалле поваренной соли.

Рис. 102. Плавление воска на поверхности кристалла кварца.

Покроем одну из боковых граней кристалла кварца ровным слоем воска и прикоснемся к ее середине концом раскаленной проволоки. Распространяющееся от проволочки тепло заставит воск расплавиться, образуется лунка в форме эллипса (рис. 102).

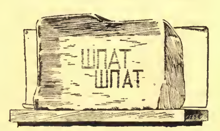
Почему лунка имеет такую форму?

Да потому, что тепло, идущее от конца проволочки, распространяется вдоль поверхности кристалла в разных направлениях с разной скоростью. Способность кристалла проводить тепло, его теплопроводность, различна в разных направлениях.

Еще более своеобразно поведение кристаллов по отношению к лучам света.

В 1669 году датский врач и математик Эразм Бартолин обнаружил, что предметы, рассматриваемые через прозрачную пластинку, сделанную из кристалла исландского шпата, кажутся раздвоенными (рис. 103). Происходит это потому, что в этом кристалле свет распадается на два луча, идущих по разным направлениям. Открытое Бартолином явление назвали двойным лучепреломлением. Замечательно, что в том же кристалле исландского шпата можно найти такое направление, двигаясь вдоль которого свет не будет распадаться на два луча и кристалл будет подобен обычному стеклу.

Рис. 103. Двойное лучепреломление.



Рассматривая особенности кристаллических тел, нельзя забывать об одном удивительном свойстве некоторых из них, находящем в наше время важное применение в технике, а именно о пьезоэлектрическом эффекте.

Если из кристалла кварца вырезать пластинку так, как это показано на рисунке 104, и сжать ее, то на противоположных гранях пластинки возникнут электрические заряды. Одна грань зарядится положительно, противоположная ей — отрицательно.

При растяжении электрические заряды тоже появятся, но только знаки их будут обратными: грань, заряженная раньше положительно, теперь будет нести отрицательный заряд, и наоборот. Чем больше сжатие или растяжение пластинки, тем больше и возникающие заряды.

По-гречески слово «пьезо» означает «давление», слово «эффект» — «действие»; поэтому возникновение электрических зарядов под действием давления и назвали пьезоэлектрическим эффектом.

Пьезоэлектрический эффект обратим. Это означает, что если противоположные грани пластинки зарядить разноименным электричеством, то в зависимости от того, какая грань заряжена положительно, а какая отрицательно, пластинка или сожмется, или сделается более толстой. Это свойство пьезоэлектрических кристаллов позволяет использовать их для получения неслышимых человеческим ухом ультразвуков.



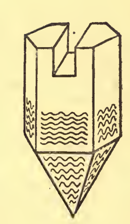


Рис. 104. Пьезопластинка.

Неслышимые звуки

Мы уже знаем, что для возникновения звука необходимо заставить частицы вещества совершать упорядоченное колебательное движение. Источником звука всегда является какое-либо колеблющееся тело: струна музыкального инструмента, мембрана диффузора репродуктора, стенка колокольчика, некоторый объем воздуха и т. п.

Колебания частиц в звуковой волне могут происходить или чаще, или реже. Мы говорим при этом, что звуки различаются тоном или частотою колебаний. Чем больше частота колебаний, тем выше тон звука.

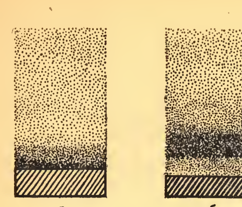




Рис. 105. Возникновение ультразвуковой волны.

Особенно велика частота колебаний у неслышимых человеческим ухом ультразвуков. Общепринято называть ультразвуками звуковые колебания с частотой, большей 20 тысяч колебаний в секунду. Для получения колебаний столь высоких частот обычные источники звука, например громкоговорители, непригодны. Их могут заменить пьезоэлектрические генераторы. Источником ультразвука в этих приборах служит пластинка, вырезанная из какого-либо пьезоэлектрического кристалла, например кварца. Противоположные грани ее покрываются тонким слоем металла и присоединяются к генератору электрических колебаний, который обычно применяется в радиотехнике.

При работе генератора на обкладках пластинки возникают разноименные электрические заряды, знаки которых периодически изменяются. В такт с изменением знаков зарядов изменяется форма пластинки, она колеблется. Когда пластинка делается толще, верхняя грань ее толкает частицы окружающего газа или жидкости — возникает область сжатого вещества (рис. 105 *а*). Когда же она сжимается, ударяющиеся о ее верхнюю грань молекулы уже не отскакивают, как они отскочили бы от неподвижной грани, а смещаются в противоположную сторону — возникает слой разреженного вещества (рис. 105 *б*).

Чередующиеся смещения частиц среды передаются соседним слоям, распространяясь все дальше и дальше. Так возникает звуковая волна (рис. 105 *в*). Частота этой волны та же, что и частота колебаний кварцевой пластинки.

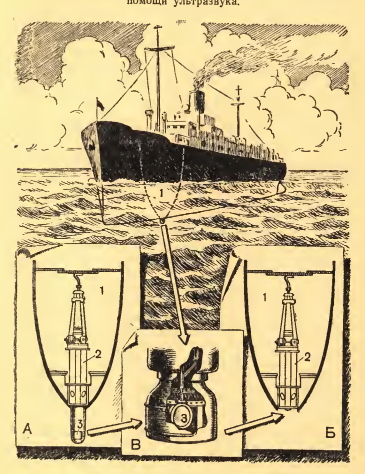
Расстояние между соседними областями сжатого вещества (или между соседними разрежениями) называется длиною волны.

Физическая природа и ультра- и слышимых звуков одна и та же. Разница между ними состоит в том, что у первых длина волны много меньше, чем у вторых.

Эта особенность неслышимых звуков позволяет посылать их в желательном направлении узким пучком, подобно световому лучу.

Именно это свойство определило первое практическое применение ультразвуков. В 1914—1918 годах французский физик, позднее коммунист П. Ланжевен совместно с русским инженером К. Шиловским применили ультразвуковые сигналы для обнаружения погруженных вражеских подводных лодок. Сконструированный для этой цели излучатель устанавливался под ки-

Рис. 106. Обнаружение погруженных подводных лодок при помощи ультразвука.



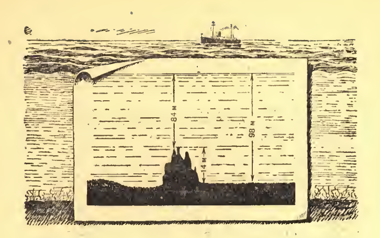


Рис. 107. Силуэт «Лузитании».

лем корабля (рис. 106), и с его помощью посылался в океан в выбранном направлении короткий ультразвуковой сигнал, или, как говорят, импульс. Момент посылки регистрировался световой отметкой на экране прибора. Послав сигнал, излучатель переключался на прием и «слушал», не придет ли эхо-сигнал. Если на пути ультразвукового импульса не было препятствий, он уходил в океан и терялся в нем — эха не было. В тех же случаях, когда на его пути попадалась подводная лодка или скала, возникал эхо-сигнал, который бежал обратно к пославшему его прибору, «принимался» им и вызывал появление на экране второй световой отметки. Приход эхо-сигнала свидетельствовал о наличии в море предмета, плотность которого отлична от плотности воды, а взаимное расположение световых отметок на экране давало возможность определить расстояние до обнаруженного предмета.

Если направить ультразвуковые импульсы вертикально вниз, то к прибору будут приходить эхо-сигналы, отраженные от морского дна, и положение световых отметок на экране даст возможность определить глубину моря под дном корабля. Такие приборы называют ультразвуковыми эхолотами. С помощью эхолота была измерена глубина одного из самых глубоких мест в море — морская пучина в Тихом океане глубиной 10 860 метров. Эхолот очень точно определяет рельеф морского дна. На рисунке 107 изображен записанный с помощью эхолота контур затонувшего корабля «Лузитания».

В наше время приборами, похожими на эхолоты, пользуются при разведке промысловой рыбы. Эхо возникает в этом случае в результате отражения ультразвуковых импульсов от

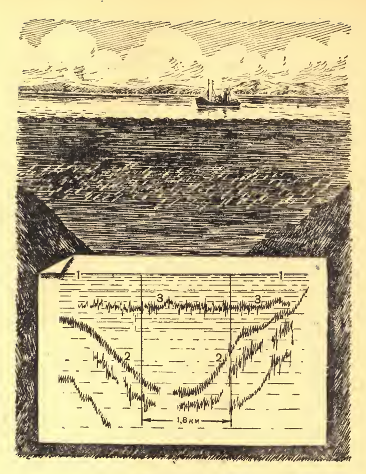


Рис. 108. Запись эхолотом косяка сельди.

плавательных пузырей рыб. Прибор записывает специальным пером посланные сигналы и на той же ленте отмечает пришедшие эхо-сигналы.

На рисунке 108 верхняя граница *1* соответствует поверхности моря, нижняя, зигзагообразная 2 — морскому дну. Линия же *3*, записанная прибором и расположенная между дном и поверхностью моря, возникла в результате отражения ультразвуковых сигналов от косяка сельди.

Ультразвуковые приборы позволяют не только обнаружить косяки рыбы, но и определить их размеры.

Ультразвуковой контроль

Ультразвуки применяются в самых разнообразных областях человеческой деятельности. Мы хотели бы рассказать

о том, как с их помощью обнаруживаются скрытые изъяны, так называемые дефекты, в различных промышленных изделиях и сооружениях. Дефекты снижают прочность деталей и особенно недопустимы в ответственных частях машин.

Советский Союз — родина ультразвуковых методов контроля качества изделий, ультразвуковой дефектоскопии. Советский ученый С. Я. Соколов использовал для этой цели способность ультразвуковых волн проходить, почти не ослабляясь, большие толщи металлов и значительно терять в мощности в том случае, если на их пути попадется даже очень тонкая трещина.

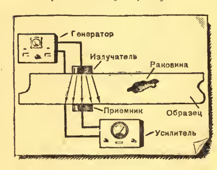
Чтобы проверить качество какой-либо детали, к ее противоположным сторонам плотно прижимаются излучатель и приемник ультразвуковых сигналов (рис. 109). Если в детали нет дефектов, то ультразвук свободно проходит сквозь нее и регистрируется приемником. Расположенная на пути ультразвука трещина или наполненная воздухом раковина являются препятствием для распространения сигнала, который не доходит до приемника и не регистрируется прибором. В этом случае деталь следует забраковать. Таким способом можно исследовать очень большие детали и обнаружить в них присутствие даже незначительных дефектов.

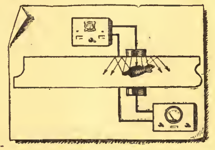
Описанный метод имеет и некоторые недостатки. Например, не всегда есть доступ к противоположным граням детали, особенно если она является частью уже собранной машины.

Значительные затруднения возникают также в результате взаимодействия идущих от излучателя волн с волнами отраженными. Поэтому в наше время используется и другой способ ультразвукового контроля, также изобретенный С. Я. Соколовым и называемый отражательной дефектоскопией.

Предназначенные для этого приборы по принципу работы напоминают эхолоты. В исследуемую деталь посылается короткий ультразвуковой импульс. Одновременно с посылкой сигнала на экране прибора возникает изгиб 1 светящейся полоски (рис. 110). Ультразвуковой импульс бежит внутри

Рис. 109. Обнаружение дефектов при помощи ультразвука.





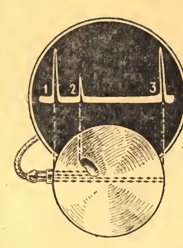


Рис. 110. Принцип работы отражательного дефектоскопа.

детали до ее противоположного конца и возвращается в виде эхо-сигнала к пославшему его пьезокварцевому излучателю. Приход эхо-сигнала отмечается появлением второго изгиба 3 светящейся полоски. Чем больше контролируемая деталь, тем больше требуется времени ультразвуковому сигналу для того, чтобы, пробежав деталь, вновь возвратиться к излучателю, и тем дальше отстоят друг от друга изгибы светящейся полоски на экране прибора.

Если деталь недоброкачественная и на пути ультразвука окажется трещина или раковина, картина, наблюдаемая на экране прибора, изменяется: возникнет добавочный эхо-сигнал 2 (рис. 110), свидетельствующий о наличии дефекта.

Величина эхо-сигнала может дать представление о размерах обнаруженного изъяна, а его расположение на экране прибора — о глубине залегания дефекта в детали. Когда на пути ультразвукового луча встречается несколько дефектов, то на экране прибора регистрируется приход нескольких эхо-сигналов.

Отражательный дефектоскоп позволяет исследовать очень большие объекты, толщиной до 10 метров.

Проверке можно подвергать детали не только в процессе их изготовления, но и тогда, когда они уже собраны в машине или сооружении. Большую помощь оказывает этот прибор, например, рабочим при контроле железнодорожных рельсов. В рельсах могут возникать трещины, из-за которых их необходимо срочно заменять. Использование ультразвуковых приборов ускоряет контроль рельсов в пять-шесть раз.

Особенно интересны попытки применить ультразвуковые аппараты для обнаружения болезненных изменений, например опухолей, в человеческом организме. Сложное строение тканей нашего тела приводит к тому, что при ультразвуковом исследовании организма возникает множество эхо-сигналов, разобраться в которых очень трудно. Только длительной и настойчивой работой ученым удалось установить отличие сигналов, приходящих в случае нормальной ткани, от сигналов, возникающих при наличии в ней опухоли.

Для ультразвукового обследования на указанный врачом участок человеческого тела по-

мещается наполненная водой ванночка, дно которой затянуто тончайшей резиновой перепонкой. В воде движется миниатюрный излучатель коротких ультразвуковых сигналов. Послав ультразвуковой сигнал, излучатель переключается на прием и отмечает приход эхо-сигналов, отраженных от различных тканей человеческого организма. С помощью специального электронного устройства ультразвуковые импульсы превращаются в сигналы, видимые на экране электронно-лучевой трубки, сходной с трубками, применяемыми в телевизорах. Наблюдаемая при этом картина, внешне несколько напоминающая рентгеновское изображение, соответствует тому, что можно было бы увидеть, если разрезать исследуемую ткань вдоль направления ультразвуковых сигналов. На этой «звукограмме» сигналы от доброкачественной опухоли оказываются менее плотными, чем сигналы от нормальной ткани. Раковая же опухоль обнаруживается как область более плотных сигналов на ослабленном фоне.

Еще более удивительный аппарат сконструирован специально для обследования желудка. Излучатель ультразвуковых сигналов в этом аппарате укреплен на конце длинной резиновой трубки — зонда и окружен тончайшей резиновой оболочкой. Внутри зонда проходят провода, соединяющие излучатель с остальной аппаратурой. Для обследования желудка человек проглатывает зонд вместе с излучателем. Резиновая оболочка наполняется дистиллированной водой и плотно прилегает к стенкам желудка, после чего обследование производят подобно тому, как описано выше.

Когда подобные приборы будут усовершенствованы и начнут широко применяться в клиниках, они окажут большую помощь в борьбе человека с различными болезнями и злокачественными опухолями.

Скорость распространения ультразвука в смеси различных газов зависит от ее состава. Сейчас мы располагаем приборами, позволяющими очень быстро и весьма точно измерять скорость ультразвука. Эти приборы можно использовать для контрольного наблюдения за составом газа. В этом случае их называют ультразвуковыми газоанализаторами. Обладая ценным качеством — практически мгновенно реагировать на изменение состава смеси, они автоматически следят за составом газовых смесей в химических производствах.

Установлено, что при одном и том же составе газа скорость звука зависит от его температуры, и потому приборы, подобные ультразвуковым газоанализаторам, можно использовать в качестве термометров. Отличительной особенностью их является быстрота, с которой измеряется температура. Именно поэтому ультразвуковой термометр был использован для того, чтобы проследить, как изменяется температура в цилин-

дре двигателя внутреннего сгорания во время его работы. Сделать это каким-либо другим способом было невозможно.

Применение ультразвуков помогает человеку решить еще много других разнообразных и подчас сложных задач. Однако описание всего этого увело бы нас далеко в сторону от основной темы. Отметим только, что пьезоэлектрические кристаллы используются в многочисленных приборах, предназначенных для измерения давления. Действительно, чтобы узнать давление, достаточно измерить величину электрического напряжения, возникшего на пьезопластинке. А это в наше время можно сделать очень точно.

Те же кристаллы служат для устройства чувствительных приемников звука — пьезокристаллических микрофонов, находящих себе широкое применение.

Жидкости, которые не текут

Наше знакомство с твердыми телами будет неполным, если не упомянуть о твердых телах, не имеющих правильной формы, характерной для кристаллов.

Взгляните на кусок оконного стекла. Специальной машиной ему придана хорошо знакомая нам форма тонкой пластинки. Если разбить его, то среди осколков не удастся обнаружить правильных кристаллов. Очевидно, молекулы в стекле расположены не в таком строгом порядке, как частицы, образующие кристаллы. Современная наука подтверждает это заключение.

Тела, являющиеся по своим механическим свойствам твердыми, но частицы которых расположены недостаточно упорядоченно, чтобы образовать кристаллы, называют аморфными.

Как же и почему возникают аморфные тела?

С ответом на этот вопрос мы, по существу, уже знакомы: иногда при охлаждении жидкостей их вязкость настолько возрастает, что они теряют текучесть и по механическим свойствам уподобляются твердым телам.

Большая вязкость мешает частицам занять строго упорядоченное положение, характеризующее кристалл. Чем больше вязкость жидкости, тем труднее она кристаллизуется. Вязкость, допустим, чистого глицерина более чем в тысячу раз превосходит вязкость воды. Поэтому кристаллизация глицерина происходит с большим трудом. Именно поэтому вплоть до второй половины XIX века он был известен только как жидкость, хотя открыли его еще в XVIII веке.

Практически, чтобы получить кристаллический глицерин, в жидкость необходимо ввести несколько его кристалликов, которые послужат затравкой.

В 1867 году в Лондон из Вены привезли бочки с глицерином. Открывавшие их чиновники были озадачены: вместо ожидаемой жидкости боч-

ки оказались наполненными неизвестными кристаллами. Как показал анализ, это были кристаллы глицерина, возникшие благодаря редкому сочетанию движений при качке судна, перевозившего бочки. Движение судна, морская качка помогли молекулам улечься в порядке, характерном для кристалла.

Однако подобное стечение обстоятельств очень маловероятно, и потому самопроизвольную кристаллизацию глицерина наблюдали с тех пор всего несколько раз.

Часто одно и то же тело может существовать как в виде кристалла, так и в виде аморфного тела. Если расплавить кристалл кварца и затем охладить образовавшуюся жидкость, то при этом возникнет аморфное кварцевое стекло. Оно не обладает пьезоэлектрическим эффектом. Его свойства одинаковы во всех направлениях.

В расположении частиц, образующих аморфное тело, упорядоченность ограничивается так же, как и у жидкостей, лишь ближайшими соседями каждой из частиц.

Горный хрусталь, кварцевое стекло и многие другие вещества являются соединением атомов двух различных элементов. Если условиться изображать атомы одного из этих элементов черными кружками, а атомы другого — белыми, то соотношение в расположении частиц в кристаллическом и аморфном твердых телах можно упрощенно пояснить рисунком 111. Мы видим, что порядок, наблюдаемый в расположении атомов в кристалле, нарушается при превращении последнего в стекло. Однако полностью он не исчезает. Возле каждого атома, взятого в отдельности, упорядоченное расположение сохраняется неизменным, но оно оказывается нарушенным, если рассматривать все твердое тело целиком.

Отсутствие совершенного, характерного для кристаллов порядка приводит к тому, что у аморфных тел свойства не

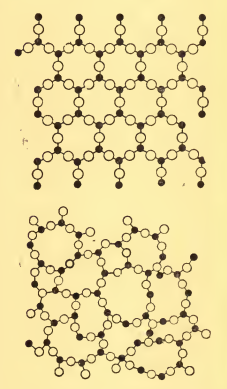


Рис. 111. Верху — строение кристалла; внизу — строение аморфного стекла.

зависят от направления. В этом отношении аморфные тела напоминают жидкость.

Как правило, при низких температурах кристаллическая форма тел более устойчива, чем аморфная; поэтому многие аморфные тела сами по себе очень медленно переходят в тела кристаллические. В стекле такой переход вызывает помутнение, а иногда и растрескивание и известен многим из обыденной жизни. Он называется «расстекловыванием». Подобный же процесс наблюдается в аморфном сахаре, называемом «карамелью». Когда карамель самопроизвольно кристаллизуется, говорят, что она «засахаривается».

Вещества, не существовавшие в природе

Вязкость жидкости может увеличиваться не только при понижении температуры. Молекулы некоторых веществ при определенных условиях приобретают способность соединяться друг с другом. Химики называют такое соединение одинаковых молекул полимеризацией.

По мере роста образующихся молекул вязкость возникшего вещества увеличивается. Если соединяются вместе десять-двадцать исходных молекул, то образуются сильно вязкие жидкости. Когда же их количество начинает исчисляться сотнями, вещество превращается в аморфное твердое тело. Возникшие таким образом вещества называют полимерами или пластическими массами.

Хорошо знакомыми всем полимерами являются различные каучуки и резины. Молекулы каучуков — очень длинные нити. У резины они соединены между собою «мостиками» так, что в целом полимер образует молекулярную сетку. Если таких мостиков возникнет очень много, каучук превратится в твердую пластическую массу — эбонит.

Резины обладают многими ценными свойствами. Из них можно делать прекрасные изоляционные материалы, они нечувствительны к действию многих химических жидкостей, обладают высокой прочностью и т. д. Однако наиболее ценным свойством каучуков и резин является их высокая эластичность.

Действительно, обычные твердые тела можно растянуть, не вызывая постоянного изменения их формы, всего на несколько процентов от первоначальной длины. Резину же можно растянуть настолько, что ее длина будет в шесть и даже в десять раз превосходить первоначальную, и все же, когда ее освободят, резина восстановит исходную форму.

Высокая эластичность полимеров обусловлена особенностями их молекулярного строения.

Попробуем пояснить это. Тепловое движение, присущее всем частицам, приводит к тому, что длинные нитеобразные молекулы полимеров не

имеют формы вытянутых цепочек, а свертываются в клубки, приближающиеся по форме к шарикам. Когда мы, прикладывая силу, растягиваем резину, мы не увеличиваем расстояния между ее частицами, а только расправляем молекулярные клубочки, пытаясь придать им линейную форму, расположить их упорядоченно. Молекулярное движение препятствует этому: резина сопротивляется растяжению. Если прекратить действие силы, тепловое движение частиц нарушит созданное искусственно более или менее упорядоченное расположение их, молекулярные нити вновь совьются в клубки, и образец примет первоначальную форму.

Чтобы заставить вытянутые нитеобразные молекулы полимера, расположившиеся частично упорядоченно, вновь свернуться в клубки, необходимо затратить энергию. Именно поэтому при сокращении растянутого резинового образца поглощается теплота, а при его растяжении —выделяется.

Особенности молекулярного строения полимеров объясняют своеобразие их упругих свойств. Растяжение или сжатие резины под действием приложенной к ней силы зависит не только от величины этой силы, как это наблюдается у других твердых тел, но и от скорости, с которой сила действует.

Когда автомобиль едет по шоссе, резина, из которой сделаны шины, сжимается быстрее или медленнее, смотря по тому, как быстро движется автомобиль. Опыт показывает, что упругие свойства шины зависят от того, с какой частотой чередуются действие силы и «отдых» резины. Таким образом, упругость шины зависит от скорости движения автомобиля. Материал, обладающий прекрасными свойствами при малых скоростях, может оказаться непригодным при больших.

Не все отдают себе отчет, сколь велика сейчас роль резины в нашей жизни. Авиация, автомобильное дело, электрохозяйство, различные станки, бытовые приборы, одежда и многое другое, без чего нельзя себе представить современную жизнь, требуют изготовления разнообразных резиновых деталей. Можно указать, например, что в современном легковом автомобиле имеется более 200 резиновых деталей.

Что же является источником этого ценного материала?

Первоначально каучук изготовлялся из сока тропического дерева гевеи. В наше время натуральный каучук, производимый из растительного сырья, составляет всего около 2 процентов мирового производства. Основная масса резиновых изделий производится из синтетического каучука. Сырье для его получения весьма разнообразно. По методу, разработанному советским химиком С. В. Лебедевым, исходным материалом является спирт, который, в свою очередь, можно приго-

товить из древесных опилок. Существуют методы, в которых исходным сырьем служит нефть и получаемые при ее переработке газы.

Успехи химии позволили получить искусственные каучуки, превосходящие по некоторым свойствам натуральные. Так, например, резиновые изделия из природного каучука не переносят высокой температуры. Как правило, они разрушаются, когда температура повышается до 100—120 градусов.

Химики приготовили высокоэластичный материал, в котором нитеобразные молекулы образованы не соединенными последовательно атомами углерода, а чередующимися атомами кремния и кислорода. Эти материалы назвали силиконами. Силиконовый каучук сохраняет эластичность как при очень низких температурах, при которых термометр показывает 60 градусов ниже нуля, так и при очень высоких, достигающих плюс 250 градусов. На него не действуют такие растворители, как бензин или масла. Он не окисляется на воздухе.

Большое распространение получили полимеры, называемые фенолформальдегидными смолами. Если пропитать несколько листов ткани спиртовым раствором этой смолы, высушить, а затем спрессовать под давлением, достигающим 200 атмосфер, получится очень ценный пластик, не уступающий по прочности чугуну, но раз в пять более легкий. Его называют текстолитом. Текстолит находит весьма разнообразные применения: из него делают шестерни, подшипники, корпуса моторных лодок, яхт и т. д.

Можно пропитывать смолой и бумагу. После спрессования получается пластический материал гетинакс. Из него изготовляются разнообразные детали радиоаппаратуры, телефонов. Гетинакс используется также для производства отделочных плит, которые невозможно отличить от ценных пород дерева или камня.

Смешивая специальные сорта высокополимерных смол с мелким стальным порошком, удалось получить вещество с очень интересными свойствами. Оно обладает способностью превращаться при добавке определенных химических веществ в твердое тело, по своим свойствам напоминающее металл. Поэтому ему дали имя пластисталь.

Основное назначение пластистали — устранение различных дефектов в металлических изделиях. Если, например, в отлитой детали обнаружена раковина, то поверхность ее очищается и раковина заполняется пластисталью. После затвердевания это место можно обрабатывать любым слесарным инструментом.

Очень ценными свойствами обладают фторопласты — пластические массы, в молекулах которых атомы водорода заменены атомами элемен-

та фтора. Фторопласты исключительно стойки к действию различных химических веществ. Даже так называемая «царская водка», представляющая смесь двух сильнейших кислот: азотной и соляной, не действует на фторопласты. Изделия из них негорючи, переносят, не изменяя формы, температуру до 350 градусов, не делаются хрупкими даже при температуре жидкого воздуха, то есть при 190 градусах ниже нуля.

Исключительно широкое распространение получила пластическая масса, называемая полиэтиленом. Нет, пожалуй, ни одной отрасли промышленности, в которой не использовались бы те или иные изделия из полиэтилена. Многие бытовые предметы изготовляются из него. Тут и небьющаяся посуда, флаконы для духов, щетки, специальные мешки для хранения пищевых продуктов и многое другое.

Применение полимерных материалов в нашей жизни столь разнообразно, что даже для краткого рассказа о них понадобилась бы отдельная книга.

Изучение молекулярного строения полимеров позволяет не только объяснить их особенности, но и сознательно создавать материалы с желаемыми свойствами. Современные наука и техника предоставляют человеку в этом отношении почти неограниченные возможности.

Еще о движении частиц

Может показаться, что в твердом теле, где господствует порядок, где частицы занимают определенные места, нельзя говорить об их движении. Однако это не так. И в аморфных телах и в кристаллах частицы находятся в вечном движении.

Как же они могут двигаться, если занимают неизменное положение?

Многие из вас помнят детскую загадку: «Что весь день идет, а с места не сходит?» Разгадка: «Часы».

Действительно, взгляните, например, на часы-ходики. Неутомимо снует взад-вперед маятник ходиков, отсчитывая время. Вправо, влево, снова вправо и снова влево движется укрепленный на маятнике кружок.

Так же, как маятник, колеблются бесчисленные частички, образующие твердое тело.

При невысоких температурах размах колебаний, совершаемых отдельными частицами, невелик. Небольшое смещение крупных молекул позволяет получать их фотографические изображения с помощью электронного микроскопа.

Правда, фотография получается, вероятно, несколько «смазанной», подобно тем неудачным снимкам, которые так огорчают новичков, пытающихся фотографировать движущиеся предметы со сравнительно большой экспозицией.

Если мы подсчитаем путь, пробегаемый колеблющимися атомами за одну секунду, сложив вместе отрезки, пройденные при отдельных колебаниях, то заметим, что этот путь будет зависеть от температуры. Чем выше температура, тем больше путь, следовательно, тем больше частота и размах совершаемых частицами колебаний.

Значит, для объяснения тепловых явлений, происходящих в твердых телах, так же как и в жидкостях и в газах, не надо прибегать к помощи таинственной «тепловой материи»; мы можем вместе с Ломоносовым сказать: «Теплота состоит во внутреннем движении материи».

Итак, если у газов молекулы в зависимости от их строения могут двигаться или только поступательно, или же сочетать поступательное движение с вращением, то частицы твердых тел только колеблются.

Это единообразие движения частиц всех твердых тел должно сказаться на их теплоемкости.

Опираясь на учение об атомах, можно предположить, что если взять различные твердые тела в таких количествах, чтобы все они содержали одинаковое число атомов, то их теплоемкости будут одинаковыми. Как показывает опыт, при не слишком низких температурах это предположение полностью оправдывается. При одинаковом числе атомов в твердых телах их теплоемкости одинаковы.

Частицы твердых тел способны и перемещаться с места на место, но число таких «кочующих» частиц невелико. Однажды был проделан такой опыт: на тоненький золотой листочек был поставлен цилиндрик, сделанный из свинца, и оставлен в таком положении в покое. Спустя четыре года свинцовый цилиндрик распилили сверху вниз, и оказалось, что частички золота, правда в ничтожных количествах, встречались по всей его толще. Этот опыт наглядно доказал, что какая-то доля частичек золота способна не только колебаться, но и перемещаться с места на место.

При повышении температуры количество «кочующих» частиц в твердом теле возрастает.

Каждой «кочующей» частице соответствует пустующий узел в кристаллической решетке. Чем больше частиц ведет «кочевой» образ жизни, тем больше в кристаллической решетке узлов, не занятых частицами.

С повышением температуры, с одной стороны, увеличивается частота и размах колебаний частиц, образующих кристаллическую решетку, а с другой — растет количество пустующих узлов. Это приводит к тому, что при какой-то определенной достаточно высокой температуре порядок частиц, свойственный кристаллу, нарушается, кристаллическая решетка перестает существовать, твердое тело плавится, превращаясь в жидкость.

Это происходит с каждым веществом при совершенно определенной температуре, как правило, отличной от температуры других веществ. Именно поэтому химики часто, желая узнать, с каким веществом они имеют дело, измеряют его температуру плавления.

При любой температуре среди бесчисленного числа частиц, образующих кристаллическое твердое тело, имеются частицы как с малой, так и с большой кинетической энергией.

Если кинетическая энергия частицы достаточно велика, то она может оторваться от поверхности твердого тела и перейти в окружающий ее газ.

Переход твердого вещества непосредственно в газ, минуя жидкость, называется сублимацией.

Особенно легко сублимируются нафталин, йод. Этим объясняется пахучесть этих веществ.

Сублимируется и твердая углекислота. Отнимая тепло от окружающих предметов, она сразу превращается в бесцветный газ, не образуя ни одной капли жидкости. Поэтому-то твердую углекислоту и называют сухим льдом.

Замечательный ребус

Какие же силы удерживают частицы твердого тела в определенных положениях, характерных для кристалла? Что мешает им разлететься по всем направлениям?

— Силы молекулярного или атомного притяжения, — скажете вы.

Но какова природа этих сил? Что заставляет два атома или две молекулы притягивать друг друга?

Если кристалл состоит из ионов, как, например, кристалл поваренной соли, объяснить притяжение частиц друг к другу легко.

Все знают, что если потереть расческу о шерстяную материю, то она будет притягивать кусочки папиросной бумаги, соломинки и другие легкие предметы. Мы говорим, что расческа наэлектризовалась и противоположные электрические заряды притягивают друг друга.

Кристалл поваренной соли состоит из чередующихся ионов натрия и хлора. Ион натрия заряжен положительно, ион хлора — отрицательно. Благодаря электрическим зарядам ионы притягиваются один к другому, обеспечивая тем самым прочную кристаллическую решетку.

Труднее объяснить возникновение сил притяжения между совершенно одинаковыми атомами углерода в алмазе или между молекулами нафталина в кристаллическом нафталине.

Однако и в этом случае причина молекулярного притяжения коренится в электрических зарядах, имеющихся в каждом атоме или молекуле. Силы притяжения, действующие между любыми частицами, имеют в конечном счете электрическую природу. Величина их зависит от расстоя-

ния между частицами. На больших расстояниях эти силы невелики, но при сближении частиц возрастают: чем ближе друг к другу расположены частицы, тем сильнее они притягиваются.

Вы можете спросить: почему же тогда атомы или молекулы в кристалле остаются на определенных расстояниях, не сливаясь в одну большую атомную каплю?

Причина этого в том, что когда частицы подойдут достаточно близко одна к другой, между ними возникают силы отталкивания. Правда, молекулярное отталкивание проявляется только на очень близких расстояниях, но зато оно возрастает по мере сближения частиц гораздо быстрее, чем притяжение. На определенном расстоянии между частицами силы притяжения уравновешиваются силами отталкивания. И это происходит как раз тогда, когда частицы располагаются в узлах кристаллической решетки. Поэтому в кристалле силы притяжения в точности равны силам отталкивания, и на частицы как бы не действуют никакие силы.

В 1660 году английский физик Р. Гук, исследуя поведение твердых тел под действием силы, открыл важный закон природы. По обычаю века он записал закон по-латыни и придал ему вид анаграммы:

ceiiinosssttuv.

Рассматривая этот ребус, истинные ученые могли сами из приведенных букв составить найденный Гуком закон. При этом они получили бы:

ut tensio, sic vis,

что в переводе означает:

«каково растяжение, такова сила».

Закон Гука сохранил свое значение до нашего времени. И теперь мы говорим: под действием силы в теле возникает растяжение; чем больше растяжение, тем больше возникшее в теле напряжение.

Атомное учение объясняет, почему это происходит. Когда на кристаллическое тело действует сила, частицы, образующие тело, смещаются из положений равновесия — кристаллическая решетка искажается. Если при этом частицы сближаются, то верх берут силы отталкивания, возрастающие быстрее, чем силы притяжения. В теле возникает напряжение, уравновешивающее действующую силу. Чем больше сместятся частицы, тем большее возникает напряжение. Если же частицы отходят одна от другой, то преобладающими оказываются силы притяжения, уменьшающиеся с расстоянием более медленно, чем силы отталкивания.

В теле снова возникнет напряжение, уравновешивающее действующую силу, но только направлено оно будет в противоположную сторону. И опять, чем больше сместятся частицы, чем больше удлинится тело, тем большим будет возникшее напряжение.

Закон Гука позволяет правильно рассчитывать прочность различных сооружений, машин, подъемных механизмов. Пользуясь им, конструк-

тор заранее узнает, как изменится форма создаваемой им детали под действием различных сил. Все сооружения и машины, окружающие нас, построены с учетом этого закона.

При прекращении действия силы первоначальная форма тел восстанавливается, изменение формы, или, как говорят, деформация, исчезает. Такую деформацию называют упругой. Восстановление формы вызывается внутренними напряжениями, возникающими в теле при деформации.

Однако не все деформации упруги. Увеличивая действующую силу, можно вызвать такое изменение формы, которое уже не исчезнет при удалении силы. Тело приобретет несколько иную форму — деформация сохранится. В этом случае говорят, что возникла остаточная деформация.

Возникновение остаточной деформации легко объяснить с помощью атомной теории. Сохраняющееся изменение формы вызывается таким перемещением частиц, образующих кристалл, при котором плоскости спайности как бы скользят одна по другой. В результате этого скольжения частицы не только сближаются или удаляются друг от друга, но и меняются местами со своими соседями так, что какой-либо атом или ион оказывается лежащим против частицы, ранее расположенной сбоку от него. Когда действие силы, вызывающей деформацию, прекращается, характер расположения частиц в кристалле восстанавливается, внутренние напряжения исчезают, однако смещение плоскостей спайности сохраняется. Так возникает остаточная деформация.

Изучение кристаллических решеток различных твердых тел позволяет вычислить напряжения, возникающие в них при деформации.

При желании можно вычислить и ту силу, которая, преодолев притяжение частиц, образующих твердое тело, разорвет его. Можно, следовательно, теоретически рассчитать прочность различных твердых тел. Однако когда результаты таких вычислений сравнили с опытом, то оказалось, что на практике тела разрываются под действием гораздо меньших сил, чем те, которые получались расчетом.

В чем же причина этого расхождения?

Ответ оказывается неожиданно простым: на поверхности твердого тела всегда имеется много очень маленьких, не видимых глазом трещин. Когда твердое тело растягивают, эти трещины увеличиваются и приводят к разрыву тела. Если бы этих трещинок не было, тело стало бы гораздо прочнее.

Чтобы доказать правильность этой мысли, видный советский ученый А. Ф. Иоффе решил получить тело, свободное от поверхностных трещин.

Но как это сделать?

А что, если попытаться растворить наружные слои поверхности твердого тела вместе с бороздящими их трещинками?

Обратились к опыту. В качестве твердого тела взяли кристаллы поваренной соли, погрузили их в воду, растворили поверхностный слой кристалла и тем удалили ослабляющие трещинки. Теперь кристалл надо было разорвать, не вынимая из воды. Когда разрыв был произведен, оказалось, что прочность соли в этих условиях оказывается в десятки раз больше, чем у такого же кристалла, испытанного без обработки поверхности.

В последние годы большое внимание исследователей привлекают свойства очень тонких, нитевидных кристаллов. По-видимому, в результате особенностей роста поверхность этих кристаллов свободна от крупных изъянов, ослабляющих обычные кристаллы. Как показывают испытания, прочность нитеобразных кристаллов приближается к той величине, которую ученые находят теоретически.

Хочется напомнить еще об одном вопросе, которым в детстве интересуются почти все. Почему осколки какого-либо предмета, например разбитой чашки, не соединяются, если их плотно прижать один к другому. И действительно, казалось бы, молекулярные силы должны были бы соединить вместе отдельные части.

Причин, почему этого не наблюдается, несколько.

Во-первых, когда чашка разбивается, поверхности образующихся осколков изменяются так, что практически невозможно сложить их идеально точно и плотно, как они были сложены раньше.

Во-вторых, свежеобразовавшаяся поверхность разлома чрезвычайно быстро поглощает молекулы воздуха. Прилипшие к поверхности частицы воздуха не дают возможности сблизить атомы, лежащие на поверхностях разлома, до тех расстояний, на которых вступают в действие атомные силы.

Как известно, слюда легко расщепляется на отдельные пластинки. Можно отщепить пластинку слюды не полностью, введя в зазор тонкий клин. Если клин вынуть, отщепленный листок возвратится в исходное положение, но связь его с основной пластинкой будет все же нарушена, и чтобы отщепить листок повторно, потребуется меньшее усилие. Если же все это проделать в специальном сосуде, из которого предварительно откачать воздух, то при удалении клина отщепленный листок вновь прилипает к пластинке почти так же прочно, как он удерживался до раскола. В данном случае большую роль играет также взаимодействие электрических зарядов, возникающих на слюде при ее раскалывании.

А вот еще один опыт. Приведите в тесное соприкосновение две совершенно чистые металлические поверхности; они должны прочно соединиться под влиянием сил, действующих между атомами металла. Эта мысль реализована в интересном техническом нововведении — холодной сварке металла при по-

мощи ультразвука. Таким способом соединяют тонкие листы цветного металла, когда другие методы сварки почему-либо нежелательны.

В тех местах, где должно возникнуть сварное соединение, металлические листы накладываются один на другой и поджимаются с помощью гидравлического пресса. Затем ультразвуковым вибратором вызывают колебания в металлических листах и заставляют тем самым частицы металла двигаться взад и вперед вдоль соединяемых поверхностей. Эти движения до некоторой степени напоминают движения наших рук, когда, умываясь, мы потираем одну ладонь о другую. В результате колебательного движения поверхности металла очищаются и с них удаляются прилипшие частицы воздуха и других посторонних веществ. Атомы же металла, расположенные в поверхностях, приходят в тесное соприкосновение, и силы, действующие между ними, обеспечивают прочное сцепление соединяемых металлических листов.

После ультразвуковой сварки попытка оторвать один лист от другого обычно приводит к тому, что листы рвутся не в местах сварки.

Адсорбция

Когда разламывается твердое тело и возникает новая поверхность, то лежащие в этой поверхности атомы оказываются в особенном положении. Действительно, раньше они с большой силой притягивали своих бывших соседей, которые теперь лежат на поверхности другой части тела, возникшей при разломе, и находятся за пределами действия их атомных сил. Это заставляет предположить, что вблизи поверхности тела должно как-то сказываться наличие избыточных атомных сил, не насыщенных взаимодействием с соседними атомами.

Силы эти могут быть или подобны тем, которые действуют между телами, заряженными электричеством разного знака, или же иметь более сложную природу. Важно лишь то, что если молекула какого-нибудь вещества подойдет достаточно близко, она окажется под очень сильным воздействием атомов, расположенных на поверхности твердого тела (рис. 112).

Эти особенности молекулярных взаимодействий объясняют способность твердого тела уплотнять на своей поверхности окружающие его газообразные или растворенные вещества. Такое уплотнение на поверхности физики называют адсорбцией.

Необходимо напомнить, что молекулярные силы действуют только на очень коротких расстояниях, и если говорят, что твердое тело уплотняет — адсорбирует — какое-либо газообразное вещество, то нельзя представлять себе, что частицы газа подтягиваются со сравнительно большого расстояния к поверхности твердого тела, подобно тому как пыль

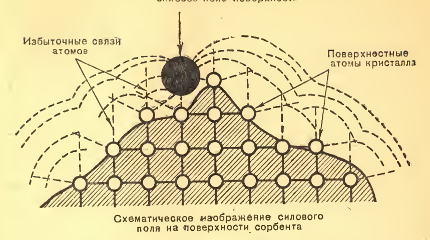


Рис. 112. Взаимодействие молекулы с поверхностью твердого тела.

подтягивается пылесосом. То, что происходит, скорее напоминает взаимодействие пыли с мокрой щеткой, которая не может подтянуть к себе пылинки, но прочно удерживает их, если они на нее попали.

Явление адсорбции имеет большое практическое значение. Им пользуются для очистки газов и жидкостей от нежелательных примесей, для улавливания ценных продуктов, которые иначе терялись бы вместе с отходящими промышленными газами или сточными водами. Его применяют при разделении различных газообразных и жидких смесей, а также для решения многих других практически важных задач.

Поскольку при адсорбции вещество уплотняется только на поверхности, то используются лишь те твердые тела, поверхность которых достаточно велика. С этой целью их или дробят на очень мелкие частицы, или же делают чрезвычайно пористыми. Чаще пользуются пористыми поглотителями, или, как говорят, пористыми сорбентами.

Прекрасным сорбентом является специально обработанный уголь. Пористость угля обусловлена его растительным происхождением. Если из древесины удалить соки и летучие вещества, а оставшийся скелет обуглить, то возникнет исключительно пористое тело. Необходимо его лишь так обработать, чтобы поры были открыты для проникновения в них молекул поглощаемых веществ. Обработка производится при температуре около тысячи градусов водяным паром и углекислотой и называется активированием, а по-



Рис. 113. Образование пор в древесном угле при активировании.

лученный уголь — активированным углем.

На рисунке 113 показано, как происходит очистка пор угля от загрязнений и увеличение его поверхности при активировании.

Активированию можно подвергать либо естественный уголь, полученный при обугливании скорлупы кокосовых орехов или абрикосовых косточек, или же материал, специально приготовленный из угольной пыли. В этом случае каменноугольная пыль смешивается с древесной смолой так, что образуется пластическая масса, напоминающая тесто. Она продавливается через круглые отверстия, превращаясь в жгутики, напоминающие лапшу. В дальнейшем «лапша» режется на отдельные кусочки — гранулы размером приблизительно с рисовое зернышко. Гранулы высушиваются, обжигаются и затем активируются.

На рисунке 114 показано, как происходит активирование угля, полученного из угольной пыли.

Активирование чрезвычайно увеличивает поверхность угля. В кусочке активированного угля весом всего в один грамм поверхность составляет от 500 до 1 000 квадратных метров. Для сравнения можно указать, что на этой поверхности уложится от 15 до 30 тысяч страниц книги, которую вы читаете. На такой поверхности может уплотняться — сорбироваться — очень большое количество различных веществ. Например, одна тонна активированного угля удерживает до двухсот килограммов бензина!

В химической промышленности находят широкое применение летучие растворители, сохранить которые помогает адсорбция.

Чтобы получить прорезиненную материю, предназначенную для шитья плащей и накидок, на обычную ткань наносят слой растворенной в бензине каучуковой смеси. В дальнейшем бензин улетучивается, а оставшийся на ткани каучук делает ее водонепроницаемой. Бензин при этом расходуется тоннами, и

давать ему возможность улетучиваться в воздух означало бы выбрасывать большие деньги на ветер. Отсюда вывод: летучие растворители следует улавливать. Это справедливо еще и потому, что во многих производствах применяются более дорогие растворители, чем бензин.

Для улавливания ценных летучих веществ служат аппараты, называемые адсорберами. Чаще всего адсорбер представляет собою установленный вертикально стальной цилиндр, в нижней части которого располагается решетка. Внутрь цилиндра загружается зернистый сорбент, например активированный уголь. Смесь воздуха и паров улавливаемого вещества поступает в адсорбер снизу и проходит через слой адсорбента. При этом пары летучих растворителей сорбируются углем, а очищенный воздух уходит через трубу, укрепленную на верху аппарата.

Конечно, по мере работы активированный уголь насыщается сорбируемым веществом и теряет способность его поглощать. Поэтому всегда необходимо иметь по крайней мере два адсорбера, из которых один работает в то время, как другой освобождается от поглощенного им летучего вещества. Вытеснение адсорбированного вещества производится пропусканием через адсорбер горячего водяного пара, который поступает затем в холодильник, где отдает захваченное летучее вещество. Когда все поглощенное вещество удалено, адсорбер снова готов к работе.

С помощью адсорбции можно улавливать не только вещества, находящиеся в парообразном состоянии, но и растворенные в какой-либо жидкости.

Немногие теперь знают, что привычный нам белоснежный вид сахара не всегда был таковым. Было время, когда в магазинах продавался сахар желто-коричневый. Чтобы сделать его белым, необходимо очищать, как говорят — осветлять, исходный сахарный сироп. Осветление производится при помощи активированного угля, адсорбирующего

Рис. 114. Активирование угля, приготовленного из угольной пыли.



окрашивающие сироп загрязнения.

В нефтяной промышленности адсорбция применяется для очистки смазочных масел. В этом случае адсорбентом служат специальные активные глины.

При производстве редких металлов адсорбцией пользуются для извлечения из растворов ценных соединений.

Для процессов, протекающих в почве, большое значение имеет способность ее адсорбировать бактерии. Если к воде, содержащей бактерии, добавить немного почвы и сильно взболтать, то в ней бактерий будет уже меньше — часть их окажется адсорбированной. Опыты показывают, что различные почвы преимущественно адсорбируют разные бактерии.

Большую роль играет адсорбция и в жизнедеятельности различных организмов, поскольку она является первой стадией многих важных процессов, протекающих в живом организме.

Новые задачи

В наши дни химики научились создавать адсорбенты, поглощающие только определенные группы химических веществ. Это позволило решать с помощью адсорбции задачи, которые еще недавно показались бы фантастическими.

В целом ряде производств необходима очень чистая вода, без всяких примесей. Для очистки воду перегоняют, то есть кипячением превращают ее в пар, а в специальных холодильниках пар вновь конденсируют. Перегонка — длительный и дорогой процесс. Ученым удалось получить исключительно чистую воду, используя явление адсорбции.

Обычно в воде присутствуют разные соли. При растворении молекулы их разделяются на ионы, имеющие противоположные электрические заряды. Положительно заряженный ион называют катионом, отрицательно заряженный — анионом.

Изучение явления адсорбции дало возможность приготовить замечательные адсорбенты, так называемые ионообменные смолы—иониты. Ионообменные смолы бывают двух родов.

К первому роду смол, называемому катионитами, относятся такие смолы, которые обладают способностью поглощать присутствующие в воде катионы и направлять вместо них в воду положительно заряженные атомы водорода.

Смолы второго рода — аниониты, поглощают из раствора анионы солей. А в раствор вместо них направляют отрицательно заряженные, соединенные вместе атомы водорода и кислорода.

Выходит, если воду с растворенной в ней солью пропустить первоначально через адсорбционную колонку, наполненную катионитом, а затем через колонку, наполненную анионитом, то в первой поглотятся катионы растворенных солей, а во второй — анионы. Пройдя через такое очищение,

вода полностью освободится от растворенных солей. На место их из первой колонки в воду поступят положительно заряженные атомы водорода, а из второй — соединенные вместе атомы водорода и кислорода, несущие отрицательный заряд. Встретившись, две частицы, заменившие ионы соли, соединятся, образовав молекулу воды.

Мы видим здесь особенный случай адсорбции, когда из воды поглощаются присутствующие в ней ионы соли, заменяясь равным количеством ионов воды. Поэтому эти сорбенты и называют ионообменными.

Полученная при помощи ионообменных смол исключительно чистая вода обходится гораздо дешевле перегнанной.

Ионообменные смолы находят самое разнообразное применение в промышленности.

На заводах, производящих кинопленку, на кинофабриках, обрабатывающих заснятую пленку, сточные воды содержат растворенные соли серебра. Ионообменные смолы позволяют улавливать это серебро, которое иначе ушло бы в реки.

Точно так же в производстве искусственного шелка применение ионообменных смол сохраняет для государства большое количество меди, которая находится в виде растворимых соединений в сточных водах.

Нельзя забывать, что улавливание веществ, находящихся в сточных водах, не только сохраняет для государства ценные продукты, но и защищает водоемы от вредных загрязнений, спасает их животный и растительный мир от гибели.

Но эффективность адсорбции зависит не только от сорбента, а и от поглощаемого вещества. Разные вещества обладают различной способностью адсорбироваться. Воспользовавшись этим, удалось разработать замечательный метод разделения смесей, которые трудно разделить другими способами. Суть метода состоит в том, что подлежащую разделению смесь пропускают через адсорбционную колонку. Если присутствуют всего два вещества, одно из которых адсорбируется хорошо, а второе плохо, то первое поглотится в колонке, а второе выйдет из нее вместе с растворителем.

В тех случаях, когда в растворе присутствует несколько химических соединений, в адсорбционной колонке образуются отдельные зоны, расположение которых зависит от способности разделяемых веществ адсорбироваться. Таким способом удается разделять смеси даже тогда, когда отдельные вещества, входящие в их состав, присутствуют в ничтожных количествах.

Вы, наверное, знаете, что, используя замечательные успехи науки и техники, ученые создали элементы, которых не было в природе. Они были названы именами ученых: эйнштейний, фермий, менделеевий. Получены эти элементы в результате бомбардировки специальных «мишеней» атомными частицами, разогнанными

до огромных скоростей. При такой бомбардировке возникали смеси различных элементов, которые необходимо было быстро разделить и исследовать. Это удалось сделать адсорбционным методом, быстрота и чувствительность которого оказались непревзойденными. Действительно, адсорбционный метод позволил отделить и обнаружить считанное число атомов менделеевия! За 5 минут новый элемент был отделен от смеси и обнаружен.

В заключение следует подчеркнуть, что область применения адсорбционного метода разделения веществ непрерывно расширяется, позволяя решать всё новые и новые задачи.

Невидимые помощники

Уплотняясь на поверхности, молекулы адсорбированного вещества не остаются пассивными. В свою очередь, они воздействуют на сорбент, изменяя его свойства. Опыты показали, что адсорбция определенных веществ может значительно облегчить разрушение массивных твердых тел. Эти вещества назвали понизителями твердости.

Применение понизителей твердости открывает широкие перспективы интенсификации многих важных промышленных процессов.

Особенно плодотворным оказалось применение этих веществ при бурении в горнорудной, угольной и нефтяной промышленности. При бурении нефтяной скважины в нее, как известно, для промывки подается вода или глинистый раствор. Добавка к промывной воде совсем небольшого количества понизителей твердости позволяет в некоторых случаях увеличить скорость бурения на 50 процентов. Практически это очень важно, потому что способностью облегчать разрушение твердых тел обладают многие недорогие и химически весьма разнообразные вещества, которые сами иногда являются отходами производства.

Замечательные свойства понизителей твердости объясняются тем, что под действием инструмента, которым производят бурение, в твердом теле еще до видимого его разрушения возникают микрощели, способные к «самозалечиванию» — смыканию — под действием молекулярных сил. Понизители твердости проникают внутрь этих щелей, адсорбируются на стенках, расширяют их, препятствуют «самозалечиванию». В результате прочность твердого тела понижается, а скорость бурения увеличивается.

Вероятно, ту же роль, что и понизители твердости при бурении, играют вещества, добавляемые в специальные мельницы, измельчающие различные твердые материалы.

Поверхностно-активные вещества применяются и в металлообрабатывающей промышленности. Добавка подобных веществ к воде или маслу, охлаждающим и смазывающим сверла, позволяет повысить скорость сверления.

Применение смазочных жидкостей, адсорбирующихся на поверхности металла, повышает качество обрабатываемой поверхности.

Надо сказать, что если адсорбированные вещества изменяют свойства той поверхности, на которой они адсорбированы, то молекулярные силы, действующие в поверхностном слое твердого тела, в свою очередь, очень сильно изменяют свойства адсорбированных молекул.

В некоторых случаях взаимодействие между поверхностью твердого тела и адсорбированными молекулами оказывается настолько сильным, что между ними возникает химическое соединение. В качестве примера можно указать на поглощение углекислого газа из воздуха гашеной известью, которая в смеси с песком применялась раньше при постройке каменных строений. Поглощенный углекислый газ вступал в этом случае в химическое соединение с известью, образуя углекислый кальций или мел.

Можно привести и другие примеры подобного взаимодействия. В отличие от обычной адсорбции это взаимодействие называют хемосорбцией.

Следует указать, что и в тех случаях, когда химического соединения при адсорбции не возникает, все же свойства молекул, притянутых к поверхности твердого тела, отличаются от свойств тех же молекул, свободно движущихся в газе или в растворе. Наглядным доказательством этого является способность адсорбированных молекул принимать участие в таких химических превращениях, которые в случае свободных молекул или вовсе не происходят, или происходят очень медленно.

Так, смесь двух объемов водорода и одного объема кислорода образует гремучий газ, который при зажигании со взрывом превращается в воду. Без зажигания при комнатной температуре превращения гремучего газа в воду практически не происходит. Однако если в сосуд, содержащий гремучий газ, внести мелко раздробленную, так называемую губчатую платину, вода образуется мгновенно.

Подобное ускорение химической реакции веществами, не входящими в состав возникающих продуктов, называется катализом, а вещества, вызывающие ускорение, — катализаторами.

Характер химических превращений зависит не только от адсорбированного вещества, но и от того, на каком веществе-катализаторе оно адсорбировано. Пропуская пары спирта через нагретую трубку, заполненную окисью алюминия, мы получаем газ этилен. Если же в трубку поместить медные стружки и пропускать те же пары спирта, то возникнет не этилен, а другие соединения.

Значение катализа в современной химии трудно переоценить.

В описанных примерах причиной ускорения химических превращений были молекулярные взаимодействия, вызываю-

щие адсорбцию вещества на поверхности твердых тел.

В заключение надо отметить, что и в случае твердых тел атомное учение позволяет понять их свойства, объяснить закономерности, которым подчиняется их поведение.

Так наука решает задачу, сформулированную великим Ломоносовым: «сыскать причины видимых свойств в телах на поверхности происходящих от внутреннего их сложения».

Заключение

Мы рассказали о немногих из тех интересных явлений, которые связаны с атомно-молекулярным строением вещества.

Теперь читателю должно быть ясно, как, учитывая движение молекул, можно объяснить свойства тел, понять, что такое теплота, найти законы, которым подчиняются превращения вещества, и т. д.

Эти знания необходимы в практической деятельности людей. Без них нельзя строить совершенные двигатели, мощные самолеты, дешево получать важные для промышленности продукты.

Эти знания нужны нам и по другой причине. Они говорят о том, что мир материален, что движением молекул можно объяснить явления, протекающие в природе, без помощи каких бы то ни было божественных сил.

Наука не стоит на месте. С каждым годом она раскрывает все новые и новые тайны природы.

Можно проследить мысленно, как увеличивался круг явлений природы, изучаемых человеком. Ограниченный первоначально миром сравнительно больших вещей, видимых непосредственно глазами и ощущаемых руками, он расширился к нашему времени почти фантастически.

С одной стороны, человек проник в космос, начал осваивать гигантские межпланетные пространства, а с другой — углубился в самые сокровенные недра атома.

Пытаясь оценить сделанное человеческим гением, невольно вспоминаешь слова М. Горького:

«Человек! Это звучит гордо!»

Решены огромные задачи, но еще больше ждут своего решения.

Если вчера познание природы ограничивалось молекулой и атомом, а сегодня теми элементарными частицами, из которых они состоят, то наша материалистическая философия «настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих вех познания природы прогрессирующей наукой человека» (В. И. Ленин). Познание природы бесконечно. И на этом пути человека ожидает еще много неизвестного.

Огромная армия ученых настойчиво стремится уточнить наши сведения об окружающем мире, и хочется надеяться, что в решении этой увлекательной задачи примут участие и читатели этой книги.

СОДЕРЖАНИЕ

Кудрявцев Борис Борисович

МИР В ПЕСЧИНКЕ

М., «Молодая гвардия», 1961.
160 с.

Редактор *В. Федченко*
Художники *Д. Шимилис, Г. Позин.*
Худож. редактор *А. Степанова*
Техн. редактор *И. Егорова*

А06172 Подп. к печ. 23/X 1961 г.
Бум. 60×92 1/16. Печ. л. 10(10).
Уч.-изд. л. 10. Тираж 40 000 экз.
Заказ 1296. Цена 30 коп.

Типография «Красное знамя»
изд-ва «Молодая гвардия».
Москва, А-30, Сущевская, 21.


30 коп.